

**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Facultad de Economía**

**División de Estudios de Posgrado**

***“Un marco analítico estructural y de flujos físicos para el desarrollo regional sustentable. Estudio de caso en la Región Centro de México (RCM)”***

**Tesis**

para obtener el grado de  
Doctor en Economía  
que presenta

**Rafael Borrayo López**

***Comité tutorial:***

**Dr. Fernando Rello Espinoza**  
*(Tutor principal)*

**Dr. Martín Puchet Anyul**

**Dr. Roberto Escalante Semerena**

Ciudad Universitaria, México, D. F., 2008



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 a mi familia y a mi amigo: *Juan Manuel Castañeda Arriaga*; participante activo desde el surgimiento hasta la culminación de este esfuerzo. Muchas gracias.

## Índice General

Aspectos generales sobre la estructura de la investigación .....	v
Capítulo 1: Introducción: El problema de investigación, su objeto y justificación.....	2
1.1 Introducción al problema de investigación.....	2
1.2 Propósitos de la Investigación .....	7
1.3 Estructura teórico-metodológica y capitular de la investigación .....	8
Capítulo 2: Interdependencia entre un sistema económico (SE) y sus sistemas ambientales (SA); procesos de acoplamiento y gestión ambiental del sistema conjunto SE-SA. ....	13
2.1 Perspectivas analíticas para tratar la interdependencia SE-SA en la <i>economía ecológica</i> (EcEc).....	14
2.2 Marco analítico descriptivo de un sistema conjunto SE-SA .....	20
2.2.1 Conceptos básicos de un sistema SE-SA y elementos constitutivos del capital natural .....	20
2.2.2 Sistema físico de sustentación de un sistema SE-SA .....	27
2.2.3 Sobre la especificación dinámica de la interdependencia SE-SA: Un “prototipo”	30
2.2.4 Usos analíticos y proceso de generación de una norma-umbral ambiental .....	34
2.3 Elementos para un marco analítico de macroeconomía ambiental o física .....	39
2.3.1 Macroeconomía y leyes de termodinámica: Introducción .....	39
2.3.2 Sobre el nexo entre un SE y sus SA.....	41
2.3.3 Proceso de acoplamiento SE-SA como proceso de des/materialización y su medición.....	48
2.4 Base empírica e integración de un modelo básico de gestión ambiental adaptativo .....	58
2.4.1 Sobre una base empírica y contable (sistema observacional).....	58
2.4.2 Elementos generales para integrar un modelo de gestión ambiental .....	59
Capítulo 3. Marco metodológico para evaluar el desempeño ambiental de economías regionales: Análisis de descomposición estructural (SDA) con flujos físicos .....	65
3.1 El objeto de la investigación empírica y el problema de la cuantificación de procesos de acoplamiento .....	65
3.2 Modelo de análisis de descomposición estructural (SDA) con flujos físicos e índice de sustentabilidad regional o “especializado” .....	69

3.2.1	Modelo principal de descomposición estructural con flujos físicos para su aplicación al estudio de caso .....	71
3.2.2	Índice de sustentabilidad regional o "especializado" .....	74
3.3	Uso del suelo y estimación de impactos ( <i>huella ecológica</i> ) en un marco analítico I-O ...	76
3.4	Síntesis general del marco analítico y metodológico de la investigación .....	81
APÉNDICE 3.1	Fundamentos del análisis de descomposición estructural (SDA) .....	84
A1.	Introducción .....	84
	Descomposición de cambios en los coeficientes I-O .....	84
	Descomposición de cambios en la demanda final.....	85
A2.	Análisis de descomposición: Fundamentos.....	85
A3.	Análisis de descomposición estructural: Metodología .....	86
	Formas de descomposición estructural equivalentes.....	87
Capítulo 4.	Interpretación y análisis general de resultados del caso de estudio.....	91
4.1	Introducción .....	91
4.2	Validación del modelo de SDA con flujos físicos ("especializado") .....	92
4.2.1	Contrastación empírica de la hipótesis principal.....	94
4.2.2	Conclusiones importantes.....	96
4.3	Interpretación del SDA con flujos físicos: Evaluación del desempeño ambiental de economías regionales (RCM y agregado nacional).....	97
4.3.1	Grupo I de resultados del SDA .....	98
4.3.2	Grupo II de resultados del SDA .....	103
4.3.3	Grupo III de resultados del SDA .....	108
4.3.4	Grupo IV de resultados del SDA ( <i>auxiliar o complementario</i> ).....	111
4.4	Cálculo de la <i>huella ecológica (EF)</i> o intensidad de uso (presión) del factor ambiental suelo .....	112
4.4.1	Cálculo de la EF para la RCM y el agregado nacional con el Procedimiento de Bicknell et al. ....	117
4.4.2	Consideraciones de cálculo de una EF en economía abierta y observaciones a la metodología .....	119
4.5	Conclusiones generales .....	120

Capítulo 5.	Implicaciones de política y cambio institucional: Conclusiones y recomendaciones .....	123
5.1	Una síntesis general: El problema económico-ambiental regional.....	123
5.2	Implicaciones de política ambiental sustentable y cambio institucional en México .....	125
5.2.1	Identificación de ámbitos de intervención estratégica.....	126
5.2.2	Planeación ambiental para el DRS en México.....	129
5.3	Una opción al alcance: un comentario final.....	133
ANEXO 0	Descripción y diagnóstico generales (económico, ambiental e institucional) de la Región Centro de México (RCM).....	135
Anexo I	Sobre la dinámica de un sistema conjunto SE-SA: un análisis cualitativo de estabilidad y resiliencia.....	179
ANEXO II	Análisis de flujos físicos, implicaciones para elaborar sistemas contables y “nuevos” instrumentos para la gestión ambiental sustentable” .....	192
ANEXO III	Variantes metodológicas en el uso del SDA para estimar vectores de intervención ambiental por actividades antropogénicas .....	212
ANEXO IV	Fuentes y procesamiento de la información: Matrices I-O y vectores ambientales para la RCM y el agregado nacional .....	232
Bibliografía General.....		273

## Aspectos generales sobre la estructura de la investigación

### 1. Notación

Se respeta la notación al uso: letras minúsculas para vectores y mayúsculas para matrices, ambas en negritas (p.ej. **a**, **A**). Las letras normales (no-negritas) se usan para cualquier escalar (p.ej. *a*, *A*).

### 2. Definiciones

Se emplean dos tipos de definiciones en el texto. Los *conceptos principales*, que constituyen el vocabulario básico del “lenguaje” empleado en la investigación, para los cuales se requiere algunas veces de otras categorías para su definición o *conceptos auxiliares*. Algunos conceptos se introducen y explican brevemente conforme surgen, aunque la definición se precise después, una vez que se disponga de una estructura de conceptos necesarios para hacerla. Ambos se numeran conforme aparecen en el texto y se le antepone al número la letra ‘**D**’.

### 3. Postulados

A lo largo del trabajo aparecen un conjunto de afirmaciones denominadas *postulados*, ordenados conforme aparecen (se antepone al número la letra ‘**P**’) y se trata de afirmaciones con diferentes niveles de certeza con respecto al ‘conocimiento’ involucrado. Usualmente se identifican dos tipos de afirmaciones: i) basadas en el conocimiento empírico considerado y probado (hechos); y ii) las que califican más como hipótesis, cuya verificación, refutación o corrección es una tarea por realizar.

Tal vez habría una tercera categoría, que llamamos aquí *conjetura* para referir a aquellas afirmaciones que tienen algún sustento teórico-empírico, pero sin estudios suficientes de verificación; esto es, la constatación empírica está lejos aún de ser refutada. Pero tampoco, son estrictamente probadas por deducción lógico-matemática, demostrables axiomáticamente. Es un supuesto “a secas”, e importa aclarar que tampoco es especulación “pura”.

El conocimiento teórico contiene proposiciones no verificables, en el sentido de no estar confirmadas sobre las bases del conocimiento actual, pero con la expectativa de que eventualmente se prueben. Esto es importante para nuestra perspectiva de análisis del sistema físico de sustentación de una economía<sup>1</sup>.

### 4. Apoyos metodológicos

Los apoyos metodológicos son de dos tipos. Los concernientes propiamente a la investigación, que son los *Anexos*, contenidos al final del trabajo. Y los apoyos propios a la exposición, insertos en el texto central y que, básicamente, son los cuadros de “*Apoyo metodológico*” y los llamados “*interludios*”, cuya función es análoga a lo que musicalmente significa el concepto: composición breve que sirve de introducción o intermedio.

---

<sup>1</sup> En su *Anti-equilibrium* J. Kornai presenta una discusión sobre teoría y realidad, contraponiendo ciencias lógico-matemáticas (“verdad” deriva de una deducción lógica) con las ciencias reales, como las naturales y las sociales, en las cuales “verdad” es experiencia, comparación de afirmaciones con la realidad (Kornai, 1971; cap. 2; 7-17).

El carácter de lectura opcional para los *interludios* se dará por “regla”: *Úselo si lo considera necesario*, y continuar con el hilo conductor de la argumentación.

## 5. Nota general

La desagregación del sistema de cuentas nacionales de México empleada en la parte empírica es la siguiente:

GD-1 Sector primario (agricultura, ganadería y silvicultura)

GD-2 (Minería e industrias extractivas),

GD-3 (Manufacturas), con 9 subdivisiones;

GD-4 (Electricidad, gas y agua),

GD-5 (Construcción),

GD-6 (Comercio, restaurantes y hoteles),

GD-7 (Transporte, almacenaje y comunicaciones),

GD-8 (Servicios financieros, seguros, actividades inmobiliarias y de alquiler) y

GD-9 (Servicios comunales, sociales y personales).



## **Capítulo 1**

---

# ***“Introducción: El problema de investigación, su objeto y justificación”***

## **Contenido**

---

- 1.1 Introducción al problema de investigación
- 1.2 Propósitos de la investigación
- 1.3 Estructura teórico-metodológica y capitular de la investigación

# Capítulo 1: Introducción: El problema de investigación, su objeto y justificación.

## 1.1 Introducción al problema de investigación<sup>2</sup>

Los problemas estructurales que en la literatura se identifican como distintivos del *subdesarrollo* pueden sintetizarse en tres: rezago tecnológico, fragilidad institucional y agotamiento del patrimonio natural o problemas severos de insustentabilidad de las economías; mismos que se expresan bajo múltiples formas y complejas dependencias. Este patrón estructural de desarrollo que se observa entre naciones, es también perceptible como desarrollo desigual entre regiones dentro de cada país y, en particular, de México.

El impulso inicial para realizar esta investigación proviene de la observación crítica de que la política ambiental vigente en México tiene fuertes insuficiencias en su estructuración, baja efectividad de los instrumentos para incidir sobre los procesos reales de degradación de los ecosistemas y, esencialmente que, un aspecto fundamental de esta problemática estructural está en el ámbito institucional.

Hay en la teoría económica una fuerte tradición que coloca en el centro del desarrollo los aspectos institucionales. Se trata de una dimensión analítica vital porque sus efectos están presentes en cualquier conflicto ambiental, involucra la falta de autoridad (regional) y derechos de propiedad, lo mismo que la baja coordinación institucional por ausencia de acciones de planeación ambiental, entre los que interesa destacar.

El objeto general de nuestra investigación tiene que ver con la construcción de un marco analítico para abordar problemas estructurales de interdependencia entre un sistema económico (SE) y un conjunto de sistemas ambientales asociados (SA). Dada su complejidad, el objeto de estudio se reduce a uno más particular donde se analiza el *desempeño ambiental* que resulta de las actividades humanas de producción y consumo que se realizan dentro de un espacio económico a escala regional en México. Del marco analítico elaborado es posible derivar una aplicación muy importante, que consiste en la cuantificación de procesos de acoplamiento SE-SA, a niveles regional y sectorial, como una base cuantitativa para asignar o atribuir responsabilidad ambiental y negociar los *conflictos entre espacios económicos*.

En el mundo, como en las regiones de México, la conflictividad por los recursos naturales será creciente y acumulará tensiones sociales las cuales habrá que enfrentar con mejores programas e instrumentos de política en un contexto de largo plazo. En términos de nuestro diagnóstico (Anexo 0) es posible sostener que la política ambiental en México está caracterizada por un conjunto de instrumentos poco integrado, sin un orden jerárquico y estratégico de largo plazo; los instrumentos de política con orientación de mercado son pocos y no queda clara su función en el contexto general de la política ambiental, son marginales en términos de su impacto y tal vez sean muy ineficientes; se mantienen como dominantes los instrumentos tradicionales de tipo comando-control .

---

<sup>2</sup> De principio a fin, para los propósitos de esta investigación, se representa por 'SE' a un *sistema económico de referencia*, que permite delimitar la frontera entre un sistema central y su medio ambiente. Igualmente, usamos como un concepto que representa a los ecosistemas, la noción de un *sistema aglomerado y complejo* que está constituido por un conjunto de *sistemas ambientales* (SA).

La evaluación conjunta no es aprobatoria ni con los propios diagnósticos oficiales, los cuales siguen reportando saldos físicos del acervo de capital natural sistemáticamente negativos (ver PNMARN, 2001-2006)<sup>3</sup>, muestra de la insuficiencia para alcanzar el gran objetivo de la política ambiental en México: *estabilizar y revertir después* la gran mayoría de problemas estructurales de degradación ambiental.

Se agrega a lo anterior, los sistemas de información económico-ambiental incompletos y poco confiables y que, ante la ausencia de marcos o modelos para evaluar estos procesos, evidencia la debilidad de la capacidad institucional para la gestión ambiental regional en los tres niveles de gobierno. Se dispone de un conocimiento muy básico, casi intuitivo, sobre cómo operan los mecanismos de asignación de bienes y servicios ambientales a nivel estructural y regional<sup>4</sup>.

Por estas razones se consideró pertinente elaborar y proponer un marco analítico, de aplicación general, dentro del cual sea consistente hacer comparaciones sobre desempeños ambientales entre espacios económicos (regiones), medidos por sus contribuciones (responsabilidad) a la generación de presiones ambientales totales. Esta investigación se orientó, entonces, a la búsqueda de fundamentos para tal marco y a la recuperación de evidencia empírica disponible para sustentar su consistencia y confiabilidad. Y se propone como un instrumento de análisis de política ambiental con un enfoque estructural y de escala regional para México.

En consecuencia, la investigación tiene desde su origen una preocupación práctica sobre la instrumentación de políticas ambientales a escala regional y aporta elementos para una propuesta de descripción, análisis e interpretación desde una perspectiva, teórica y empírica, propia.

La preocupación surge a raíz de la observación de los procesos reales y seguimiento de la política ambiental en México, y como punto de partida, el objeto de estudio se construye en términos de una pregunta general y dos particulares vinculadas a ésta, y que se refieren a los problemas que pueden resolverse con la aplicación directa que resulta de esta investigación:

1. ¿Cómo evaluar las políticas ambientales vigentes en México, los ajustes o, incluso, la concepción de nuevas propuestas desde una perspectiva espacial y temporal?
2. ¿Cómo identificar y cuantificar cargas o responsabilidades por la generación de presiones ambientales entre los diferentes espacios económicos del territorio nacional? Y que para todos los efectos del trabajo se le denomina el *Problema de Atribución Ambiental (PA<sub>t</sub>)*.
3. ¿Cuáles son las determinantes (causas) estructurales en la generación de presiones ambientales a nivel regional y sectorial?

Evidentemente, el largo y sinuoso camino por el que transitó el estudio tuvo complicaciones teóricas y metodológicas que se consideran resueltas con el nivel de necesidad

---

<sup>3</sup> Aunque se debe reconocer el giro institucional muy significativo de la política ambiental en México durante el periodo de 1994-2000.

<sup>4</sup> Por su abordaje teórico y metodológico, esta investigación no tiene un referente similar en México, y menos regional. Exhaustivamente revisada la literatura sobre estudios económico-ambientales en México, éstos son muy pocos y de alcance limitado, pero ninguno con análisis de flujos físicos.

y suficiencia que demanda la investigación. Se trata de temas muy importantes porque contienen tres elementos básicos de los desarrollos actuales, que avanzan rápidamente ante la necesidad de diseñar políticas ambientales más eficaces y eficientes:

1. el asunto sobre criterios viables y evaluables<sup>5</sup> de *sustentabilidad*;
2. la *espacialidad* de las políticas ambientales, para reconocer explícitamente que los procesos económico-ambientales son fenómenos (*problemas*) de *escala* que dependen de espacios extensos, abiertos y con recursos naturales específicamente localizados (*in situ*), en su mayoría; y
3. el asunto de la *temporalidad*, o las implicaciones en el horizonte de tiempo en tanto que la permanencia y ajuste oportuno de las intervenciones humanas son cruciales para volver observables los efectos sobre los sistemas ambientales.

Este último punto es crítico en tanto que la duración de los procesos naturales es mucho más larga en relación a los procesos de producción y consumo, e incluso a la duración de los procesos de cambio estructural de una economía. Las tres categorías analíticas mencionadas son referentes constantes en la estructuración de este trabajo.

Hoy la gran mayoría de los esfuerzos en el mundo dedicados a mejorar la política ambiental colocan en el centro a la sustentabilidad. El largo debate sobre su viabilidad culminó al comprender que ésta se construye también social e institucionalmente. Su operatividad y viabilidad requiere precisar la connotación que asuma el concepto; la discusión actual se desenvuelve entre una significación fuerte frente a una débil, más sus variantes intermedias.

Un problema estructural para el desarrollo regional sustentable (DRS) es el relativo a los fenómenos o *procesos de escala* en sus diferentes manifestaciones: espacial, física y de biodiversidad (p. ej. discontinuidades ecológicas). Uno fundamental es que los impactos de la actividad humana se expresan y distribuyen de manera desigual espacial y temporalmente. No sólo son específicas las dotaciones en recursos naturales, sino también la capacidad efectiva de generar presiones ambientales (flujos físicos) por actividades antropogénicas *in situ*, o específicamente asociada a un espacio económico. Así, la dimensión física y espacial involucra variables intrínsecamente dependientes unas de otras y están en la base de la re-construcción de relaciones fundamentales que expliquen los procesos de interacción entre un SE y sus SA.

Por ello, se conjetura que el espacio regional es el plano natural para la convergencia y potenciación de los instrumentos de política ambiental sustentable. Es un *plano de encuentro* entre las acciones de política ‘desde arriba’ (plan nacional de desarrollo, planes estatales e, incluso, sectoriales) y las acciones que impulsan procesos sustentables ‘desde abajo’ (escalas municipal hasta local-comunitaria).

Brevemente, este es el contexto general para el marco analítico y el modelo de gestión ambiental que se proponen. En los problemas que se pueden abordar y ofrecer respuestas está el problema de atribución ambiental (*PAI*) planteado. Tiene como característica distintiva ser un marco analítico para un sistema físico de sustentación de una estructura económica regional, como se precisa en el capítulo 2. Se considera que este enfoque aporta bases más objetivas (reales) para un asunto de corresponsabilidad, que implica conocer desde un principio y con grados de certeza certificables: *quién contribuye con qué y en cuánto a un problema ambiental*

---

<sup>5</sup> Nuestra propia Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), última versión, en su Art. 3 define el desarrollo sustentable como un proceso evaluable.

*interespatial.*

En consecuencia, se ha seleccionado como caso de aplicación el sistema económico de la *Región Centro de México (RCM)*<sup>6</sup>, la cual perturba y degrada el conjunto de ecosistemas propios y aledaños a su delimitación geográfico-espacial. Esta aplicación se emplea como soporte empírico para argumentar a favor de una estrategia de desarrollo regional sustentable (DRS; capítulo 5).

Finalmente, sobre el tercer referente que remite a la forma de abordar el horizonte de tiempo. Aunque el planteamiento analítico propuesto contiene una interpretación de carácter dinámico, la aproximación metodológica se realiza mediante un *análisis de descomposición estructural (SDA)*; como forma de recuperar el sentido de temporalidad en tanto que cuantifica cambios totales dentro de un periodo. No es lo mejor, pero es muy útil ante la carencia de una buena base contable para el marco analítico elaborado.

En suma, es importante acotar que esta es una investigación de carácter aplicado (empírico)<sup>7</sup>, con fuertes nexos en el debate teórico actual, pero que esencialmente tiene implicaciones de política pública ambiental de carácter estratégico para el desarrollo sustentable de las regiones de México. El marco analítico construido puede extenderse al resto de las regiones del territorio nacional, con las dificultades propias a la disponibilidad de información.

### ***Antecedentes de la política ambiental en México***

Durante los 30 años de existencia de política ambiental en México se pueden identificar dos grandes etapas: la primera se inicia con la creación de las instituciones pioneras en la materia a mediados de los años setenta y culmina con la promulgación de la primera Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA, 1988), en la que esencialmente se van definiendo los espacios del sector ambiental, pero sin un rumbo claro de integración a las políticas generales de desarrollo nacional. Durante la segunda etapa se observa un cambio importante en la orientación de la política ambiental, en particular a partir de la creación de una Secretaría del Medio Ambiente (SEMARNAP en 1994), que se expresa en un gran esfuerzo de rediseño institucional y normativo intentando colocar en el centro de las políticas públicas la noción de desarrollo sustentable.

No obstante que en esta segunda etapa se constituye el marco institucional y normativo vigente y se precisan mejor los objetivos de las políticas de desarrollo sustentable, poco se avanzó en el perfeccionamiento de los instrumentos de política y métodos para su evaluación y ajuste periódico, pues entre los objetivos de política de los programas sectoriales y los saldos físicos reales existen aún grandes brechas por cerrar. Nuestro propio diagnóstico (Anexo 0) y el

---

<sup>6</sup> Conformada por el Distrito Federal y los estados de México, Hidalgo, Puebla, Morelos y Tlaxcala.

<sup>7</sup> Es una investigación de economía aplicada porque realiza una reflexión que articula analíticamente la información disponible sobre un SE particular, con las relaciones explicativas que forman el conocimiento ofrecido por la teoría económica actual. Usualmente se alcanzan objetivos de evaluación de procesos económicos y recomendación de medidas específicas de política económica para el desarrollo del SE. Adicionalmente, se entiende que el núcleo de un programa de política son los  *criterios* y las  *medidas*. Los criterios son de pertinencia general, como la propia teoría. En cambio, las medidas corresponden a cada economía específica en términos de espacio (lugar) y tiempo, propio al campo de la economía aplicada. En cuyo ámbito es posible el conocimiento de la economía vigente, en términos de magnitudes y estructuras específicas y, por ende, cuantificar su posición (estado) en relación con el objetivo postulado por las acciones de política (Noriega, 2001).

oficial<sup>8</sup> son transparentes en ese sentido: pérdida consistente de acervos de capital natural y degradación de la calidad ambiental en las diferentes regiones del país, a pesar de los éxitos registrados.

El análisis de aspectos centrales de las diferentes versiones de la LGEEPA es una forma de documentar la evolución de los principios de nuestra política ambiental. Los principios de la política ambiental se presentan en el capítulo III y en el capítulo IV, se describen los instrumentos de política, su carácter y, hasta donde es posible, una delimitación de los ámbitos de aplicación: I) planeación ambiental, II) ordenamiento ecológico del territorio, III) instrumentos económicos, IV) regulación ambiental de los asentamientos humanos, V) normatividad, y VI) autorregulación y auditorías ambientales, investigación y educación ecológicas, e información y vigilancia. Sin duda, las modificaciones a la primera versión hasta culminar en la de mayo de 2001, son una muestra palpable del cambio en la visión de la política ambiental en México.

Dado que no es naturaleza de una Ley la instrumentación de sus principios, no extraña que la LGEEPA no especifique qué instrumentos usar para qué tipos de problemas ambientales. El proceso de “aterrizaje” se logra mediante las leyes reglamentarias hasta la concreción en documentos rectores como los Planes de Desarrollo (nacional, estatal, municipal y sectorial).

En este sentido, la “mala” señal que deja el análisis del Plan Nacional para el Medio Ambiente y Recursos Naturales (PNMARN 2001-06) es la fuerte imprecisión en el uso de instrumentos y combinaciones de ellos para atacar problemas ambientales específicos y estructurales. Nuestro “automatismo” ambiental parece reflejar fielmente el sesgo de una inercia mundial que insiste en colocar el énfasis en los incentivos económicos y las virtudes en la creación de mercados<sup>9</sup>. En síntesis, la llamada Nueva Política Ambiental del PNMARN 2001-06 es esencialmente retórica.

Se considera que de la propia LGEEPA deriva una situación paradójica. Por un lado, contiene una recomendación de práctica mundial generalizada, que es la descentralización de la política ambiental y por el otro lado, como los SA no se circunscriben a los espacios jurídicos de política administrativa, la Ley deja la gestión ambiental de escala regional al marco de los convenios de coordinación (Art. 20 Bis 2), los cuales *no crean autoridad, pero sí la diluyen*. Esta falla institucional es fuente de ineficiencia en la política y de conflicto ambiental interespaical.

En consecuencia, se argumentará que la política ambiental en México debe ser una mezcla más balaceada. Regionalmente, entre instrumentos de planeación ambiental (física y espacial), incentivos económicos y creación de mercados. El cómo construir bases para evaluar confiablemente este balance de instrumentos de política, es objeto de esta investigación. Se argumenta también por qué la planeación ambiental es una poderosa vía, prevista en la Ley, pero requiere de una sólida instrumentación y eliminar su carácter subordinado a los lineamientos de política ambiental establecidos el Plan Nacional de Desarrollo y los programas

---

<sup>8</sup> En los propios términos que ofrece el PNMARN 2001-06 como la herencia ambiental del siglo XX en México: 1) Pérdida del capital natural, 2) Pérdida de la cobertura forestal, 3) pérdida de biodiversidad, 4) problemas fuertes de bioseguridad, 5) pérdida de suelos, 6) pérdida de recursos hidráulicos, 7) afectación de la zona costera, 8) contaminación (agua, suelo, residuos sólidos, residuos peligrosos, aire) y el impacto de los desastres naturales en el medio ambiente.

<sup>9</sup> La vía del mercado ofrece instrumentos de política eficientes y condicionados, pero nunca conformarán un plan razonable para la sociedad. El mercado como “plan” falla en la medida en que hay propósitos públicos y sociales críticos (estratégicos) que no pueden alcanzarse mediante intercambios tasados por un precio.

correspondientes (Art. 17).

Un eje implícito ya en la LGEEPA (2001), que puede facilitar la integración de los instrumentos de política, conecta tres líneas generales de intervención pública: *planeación ambiental, ordenamiento ecológico del territorio*<sup>10</sup> e *instrumentos económicos*; los restantes instrumentos del capítulo IV parecerían auxiliares a lo que se especifique con esta triada. En torno a la escala, la Ley puntualiza tres niveles: el nacional, regional y local. Aunque no existen programas que consoliden la instrumentación del espacio regional como un plano estratégico para la convergencia de políticas ambientales nacionales y las local-comunitarias.

La sustentabilidad es el concepto fundamental que debe cohesionar toda la acción de política ambiental, pero requiere de mayor precisión en cada una de uno de los niveles de análisis. La propia Ley expone la necesidad de que sea un “... proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter ambiental, económico y social que tienda a mejorar la calidad de vida y la productividad...” (Art. 3, frac. XI)<sup>11</sup>.

Nuestro marco analítico (capítulos 2 y 3) permite derivar índices relativos de desempeño ambiental de espacios económicos regionales, como una medida de tendencia o dirección del proceso de acoplamiento entre un SE y sus SA, propiamente, es una medida de sustentabilidad fuerte. El conocimiento y el control de patrones de apropiación del suelo y regulación de los flujos físicos que generan las actividades de producción y consumo, son los problemas de escala más básicos y requieren de un abordaje regional.

## 1.2 Propósitos de la Investigación

Los propósitos están directamente ligados a las tres preguntas centrales expuestas al inicio de la sección 1.1. Para ofrecer respuestas a ellas, la estrategia general de investigación inicia con una interpretación a un modelo de interacción dinámica entre acervos de capital producido y capital natural, de donde se obtiene una “regularidad” estructural y de muy largo plazo, en la forma de curva U-invertida (capítulo 2). A esta propuesta se le asocia un modelo básico de gestión ambiental adaptativo (control por normas) dentro del cual es posible explotar el potencial para la planeación ambiental y vislumbrar los requerimientos empíricos por desarrollar en el futuro. Finalmente, se instrumenta una aplicación de escala regional en México

### **Otros propósitos implicados en el estudio**

Otros propósitos complementarios, auxiliares y secundarios abordados por distintas razones a lo largo de la investigación son:

- Identificar y cuantificar las fuerzas impulsoras del cambio regional en lo económico, ambiental e institucional.
- Identificar y cuantificar el nivel de las presiones ambientales que generan las actividades de los habitantes de la RCM y el agregado nacional.
- Sistematizar las implicaciones de política pública para el desarrollo regional sustentable

---

<sup>10</sup> Considerado instrumento de utilidad pública en Art. 2.

<sup>11</sup> *Desarrollo sustentable*: El proceso evaluable mediante criterios e indicadores del 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 futuras (LGEEPA: Art. 3, frac. XI).

(DRS).

- Revisar críticamente algunos conceptos interesantes de capacidad de sustentación como el de “huella ecológica” (EF - *ecological footprint*) y área de disipación.
- Mostrar algunas fortalezas del enfoque de análisis de flujos físicos y los sistemas contables tipo NAMEA (*National Accounting Matrix including Environmental Accounts*) y PIOT (*Physical Input-Output Table*), como los referentes del hacia adónde deben caminar los sistemas de contabilidad económico-ambiental en México.

Las naciones que están en la punta de los procesos de concepción de políticas ambientales poseen y mejoran, permanentemente, marcos analíticos (modelos) que integran en su estructura procesos económicos y ambientales, espacial y temporalmente. Con ellos es posible describir, analizar e interpretar procesos reales, evaluar acciones de política y construir escenarios prospectivos de análisis (tecnológicos, poblacionales, cambios estilo de consumo, etc.). A partir de modelos con estas capacidades analíticas es posible derivar indicadores del acoplamiento de un SE-SA para transformar un criterio de sustentabilidad en un proceso evaluable, que finalmente esta es la presente búsqueda.

### 1.3 Estructura teórico-metodológica y capitular de la investigación

Huelga decir que la noción de *desarrollo sustentable* es de carácter multidimensional y que suele ser reducida a la triada que agrupa los factores determinantes en: económicos, ambientales y sociales, en general. Sin embargo, es necesario hacerlo para dejar asentado las dimensiones que se aíslan para el análisis objeto de esta investigación. El esquema siguiente sintetiza, a mi parecer, los ámbitos implicados (figura 1.3-1).

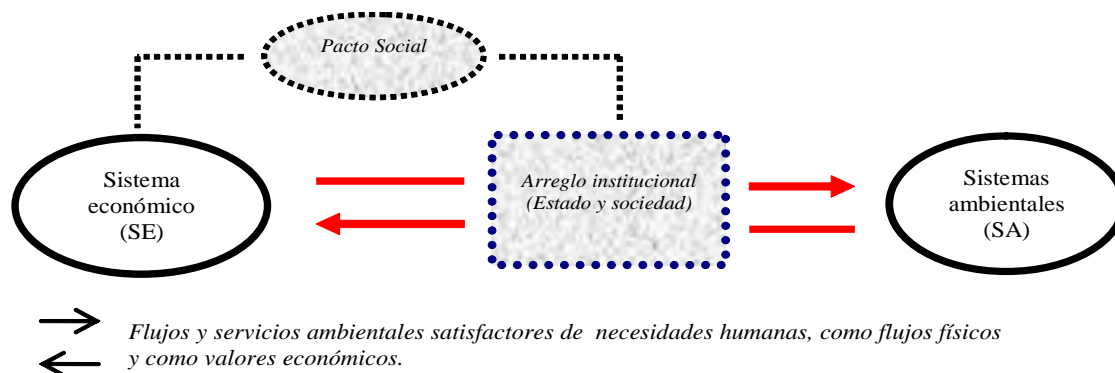


Figura 1.3-1. Esquema general de interdependencia entre un SE y sus SA.

El núcleo por destacar es la relación fundamental de interdependencia que se establece entre un SE (sistema de referencia) y los SA alterados por su operación (Capítulo 2), ambos *sistema finitos*. Este nexos se concreta mediante balances de los flujos físicos que la actividad humana de producción y consumo generan. El patrón de flujos físicos (montos y composición) expresa también un patrón de desarrollo material de una sociedad, y dicho patrón puede ser regulado por mediación del *arreglo institucional* vigente (Estado y sociedad), el cual permite



instrumentar en la realidad un sistema de valores integrado al llamado *pacto social*, en donde la sustentabilidad tiene cabida como un nuevo valor universal.

En el marco de esta sintética descripción, delimitamos nuestro objeto de investigación estrictamente a lo que en el capítulo 2 definimos como el sistema físico de sustentación de un sistema conjunto SE-SA. En particular, al análisis de flujos físicos intersistémicos, del cual derivamos un procedimiento para cuantificar y comparar desempeños ambientales de estructuras económicas regionales, como medidas de acoplamiento SE-SA (capítulo 3). Es decir, estamos con ello cuantificando un patrón de flujos físicos o de desarrollo material de una sociedad.

Con este marco analítico-estructural<sup>12</sup>, ‘validado’ cuantitativamente mediante un análisis de descomposición estructural (SDA) con flujos físicos (capítulos 3 y 4), se propone un modelo básico de gestión ambiental adaptativo en el cual es posible realizar la planeación ambiental a escala regional en México. Como una parte constitutiva del arreglo institucional vigente (figura 1.3-1), pero que debe ser desarrollado en profundidad. Por eso se ubica, analíticamente, a la planeación como un ámbito que impacta fuertemente la dimensión institucional: el cambio institucional para la sustentabilidad pasa por la planeación ambiental, como se exponen líneas generales en el capítulo 5. Sin embargo, esto no implica que el ‘cambio institucional’ sea parte del objeto central de esta investigación, sólo tratamos las implicaciones instrumentales.

Subyace como principio general del marco teórico-metodológico la afirmación de que: “Todo proceso de interacción SE-SA se expresa siempre en alguna clase de fenómenos de escala que materializan su existencia en los ámbitos físico (des/materialización), espacial (patrones ineficientes de usos del suelo), biofísico (fragmentación de ecosistemas) e institucional”<sup>13</sup>. Una especificidad por destacar de estos procesos de escala es su carácter acumulativo y se considera que la manifestación más abordable de este postulado general pasa por el análisis de la escala física o sistema físico de sustentación SE-SA.

Una vez que se ha construido el marco analítico y el modelo básico de gestión ambiental adaptativo, con los instrumentos de análisis general de actividades económicas (tipo I-O), es posible identificar las etapas de lo que se denomina el ciclo “completo” de evaluación ambiental de las actividades antropogénicas (CEA) de producción y consumo (ver figura 1.3-2). Que es justo lo que tiene que realizar el modelo de gestión, evaluar desde la generación de presiones ambientales hasta el *análisis de consecuencias*, que consiste en evaluar los impactos y precisar su contribución a cada uno de los ‘problemas ambientales’ observables y potenciales, en tanto que puede incluir un análisis de riesgo ambiental.

Son cuatro las etapas que involucra un CEA. Su visión de ‘ciclo’ permite especificar mejor los instrumentos y sus alcances respectivos. Permite enfatizar que los instrumentos no sirven para abordar todos los problemas, dado que tienen dominios restringidos (alcances) a alguno de los cuatro niveles de análisis de políticas de desempeño ambiental mencionados. Propiamente, este es el modelo de gestión ambiental y es calificado de ‘adaptativo, porque

---

<sup>12</sup> El marco teórico-conceptual para esta parte de aplicación se ubica propiamente dentro del análisis general de actividades económicas, que es compatible con un análisis de insumo-producto (I-O) y puede evolucionar con relativa facilidad hacia un análisis de equilibrio general computable (CGE) o incluso más alternativo (p. ej. sraffiano); se trabaja sobre el primero.

<sup>13</sup> Remiten a la inexistencia o fragilidad de los mecanismos de asignación confiables, en ausencia de mercados, y con fallas institucionales generalizadas, desde la difusa definición de derechos de propiedad hasta la ausencia de autoridad para dirimir situaciones de conflicto en el contexto de dotaciones espaciales específicas de los SA.

ofrece la posibilidad de ajustar o corregir el rumbo del sistema conjunto SE-SA siempre que se mejoren los instrumentos de control y su base empírica. Un “paquete” posible de variables de control podría involucrar al conjunto de normas ambientales, entre las que destacarían las *normas-umbral* derivadas en el capítulo 2 e incorporadas a la estructura básica del modelo de gestión (ver capítulo 5).

El esquema (figura 1.3-2) es importante en tanto que sirve para precisar una última delimitación del objeto de nuestra investigación. Por restricciones severas de información en el país, la aplicación del marco analítico elaborado sólo alcanzó para cuantificar hasta la primera etapa, la estimación del vector de intervención (o presiones) ambiental. Aunque nuestra perspectiva metodológica puede desarrollarse en el futuro con el alcance del ciclo completo, siguiendo el marco unificado a la Heijungs (2001)<sup>14</sup>.

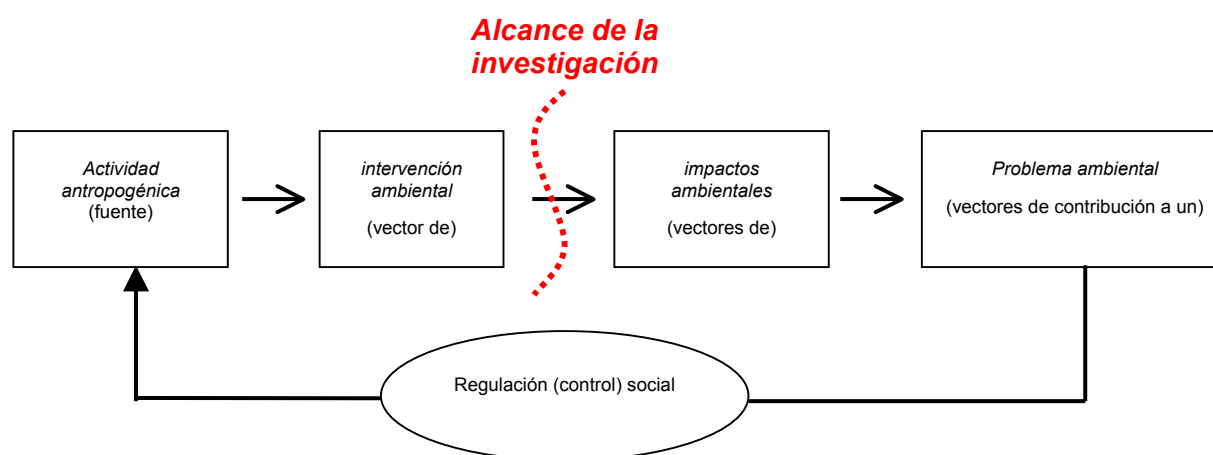


Figura 1.3-2. Ciclo “completo” de evaluación ambiental de las actividades antropogénicas (CEA)

Entre las posibilidades analíticas de cuantificar procesos y el “mejor” modelo media siempre las restricciones de información, las cuales fueron decisivas en la elección de un modelo I-O híbrido de análisis de descomposición estructural de flujos físicos<sup>15</sup>. Se trata de un marco analítico flexible con variantes, como se documenta en el anexo III. Mantiene la enorme virtud de ser la versión más simple de un modelo de equilibrio general y representa, por tanto, una plataforma de tránsito -por su base empírica- hacia modelos de equilibrio general computable o más alternativos, como los de la teoría del cambio estructural (Baranzini y

<sup>14</sup> Nuestro alcance es hasta la etapa de determinación y análisis del vector de intervención ambiental, como la ‘medida’ de los procesos de acoplamiento entre un SE y sus SA. El paso posterior sería extender nuestro marco hacia las fases de cuantificación de los impactos (y riesgos) y de la contribución a cada uno de los problemas ambiental identificados; estas dos últimas etapas no son parte entonces del objeto de esta investigación.

<sup>15</sup> Para nuestro estudio de caso (RCM) fue la disponibilidad de información ambiental un criterio que finalmente se impuso para optar por un marco I-O; no existen en México series de tiempo completas (variables ambientales) para periodos de más de 20 años como para hacer exploraciones econométricas.

Scazzieri, 1990).

El marco analítico aplicado que se ha construido descansa entonces en un modelo de descomposición estructural de flujos físicos “espacializado” y desagregado al nivel de 17 sectores económicos. Las distintas variantes de SDA instrumentadas se realizan para cada uno de los cinco factores ambientales con información mínima disponible en México: 1) agua como insumo, 2) agua residual, 3) desechos sólidos, 4) desechos peligrosos y, con un tratamiento especial, 5) el suelo. Para este factor la metodología no es un SDA, sino la estimación de la huella ecológica para cada espacio y sector de actividad económica.

Todos los aspectos de uso y procesamiento de información disponible económico-ambiental están plenamente documentados en el Anexo IV. Ahí se argumenta por qué sería muy recomendable realizar esfuerzos para mejorar *sustancialmente* nuestros sistemas de información ambiental nacional y regional. En virtud de que no existen registros contables sistemáticos sobre flujos físicos, tanto a nivel sectorial como del conjunto de los estados del país. La poca información disponible es muy inconsistente, por ello se recomienda la elaboración de un sistema de contabilidad física y espacial (tipo NAMEA), que sirva para la concepción de instrumentos complementarios que permitan el diseño de políticas más integradas espacial y transversalmente.

En suma, esta investigación se estructura en cinco capítulos. Este primero, de carácter introductorio. El capítulo 2 que contiene el marco teórico-conceptual base para construir nuestro marco analítico. Aporta los elementos para precisar la parte metodológica de la investigación empírica y ofrece los fundamentos en que descansa la interpretación de los resultados y las líneas para derivar criterios generales de política ambiental sustentable.

El capítulo 3 contiene el detalle sobre el desarrollo metodológico de la parte empírica de la investigación. Se expone el modelo de análisis de descomposición estructural (SDA) de flujos físicos; se plantea como el problema general de cuantificación de un proceso de acoplamiento entre una economía (en dos niveles: nacional y regional) con las presiones ambientales que genera; se realiza la transformación operativa de la hipótesis sujeta a corroboración; y se expone la forma de aplicar la metodología al caso de México y su región centro.

En el capítulo 4 se analizan los resultados obtenidos y en el capítulo 5 se presentan las implicaciones principales de política ambiental sustentable para México y la RCM. El último capítulo es particularmente importante en el contexto de la investigación porque sintetiza los resultados del estudio en una propuesta, que es en realidad una estrategia de desarrollo regional sustentable, con una vertiente dominante en la planeación ambiental (física y espacial).

Son también parte fundamental de la estructura de esta investigación los anexos sobre temas especializados que se abordan en el cuerpo capitular del documento. En particular, el Anexo 0 es indispensable para contextualizar la investigación e interpretar los resultados, pues contiene la descripción y el diagnóstico del estudio de caso: Región Centro de México (RCM) en relación con el desempeño del agregado nacional, en cuatro ámbitos: económico, ambiental, institucional y algunos aspectos de la desigualdad regional.

## **Capítulo 2**

---

# ***“Interdependencia entre un sistema económico (SE) y sus sistemas ambientales (SA), procesos de ‘acoplamiento’ y gestión ambiental de un sistema conjunto SE-SA”***

## **Contenido**

---

- 2.1 Perspectivas analíticas para tratar la interdependencia SE-SA en la *economía ecológica* (EcEc)
- 2.2 Marco analítico descriptivo de un sistema conjunto SE-SA
- 2.3 Elementos para un marco analítico de *macroeconomía ambiental o física*
- 2.4 Base empírica e integración de un modelo básico de gestión ambiental adaptativo

## Capítulo 2: Interdependencia entre un sistema económico (SE) y sus sistemas ambientales (SA); procesos de acoplamiento y gestión ambiental del sistema conjunto SE-SA.

Un problema fundamental de la actual teoría económica para el medio ambiente es la ausencia de resultados convincentes sobre la manera de estimar el valor de los bienes y servicios ambientales, cuya asignación no pasa por el sistema de mercados. Esto se ha expresado en la proliferación de usos inadecuados de métodos de evaluación de políticas basados en precios, como el análisis costo-beneficio. Pero también, porque se ha vuelto complicado implementar criterios y recomendaciones de política óptima derivados del análisis económico convencional.

Esta “desilusión” abre la oportunidad al desarrollo de un enfoque alternativo que recupera el lado físico de la economía y su interacción ambiental -*sistema físico de sustentación de un SE-SA*-. Desde la llamada economía del bienestar hasta los enfoques alternativos de la economía ecológica (EcEc), se reconoce con mayor frecuencia la necesidad de explorar sobre la naturaleza y las consecuencias de la *intervención humana* sobre los ecosistemas, y abordarlo como un problema analítico de *interdependencia* entre una economía y su ambiente asociado.

Este es el objeto de estudio de este capítulo 2 y se formula mediante la estrategia de construir un marco analítico de interdependencia SE-SA: modelo, con elementos teóricos y empíricos, que sustenta un enfoque de gestión ambiental adaptativo y de control por normas que se aporta al final de este capítulo. En él, cabe la noción de “ciclo” que he llamado *ciclo “completo” de evaluación ambiental de la actividad antropogénica (CEA)* en el capítulo 1. Pero además, en este marco pueden desarrollarse varias posibilidades; la que se presenta en esta investigación ofrece una forma de resolver el problema de atribución ambiental (PA<sub>t</sub>).

La “guía de viaje” para este capítulo es la siguiente. Se abre con una breve exposición sobre el estado del debate (sección 2.1). Se elabora una representación analítica para el sistema conjunto SE-SA, que se reduce en particular a su sistema físico de sustentación y se simplifica aún más cuando se asume una sola especificación dinámica para todas las escalas de manifestación de la interdependencia SE-SA (sección 2.2). Con estos resultados es posible mostrar que la existencia de umbrales en el sistema, tiene implicaciones muy importantes para la concepción de política ambiental sustentable; pero también porque es posible obtener una forma de generar normas-umbral ambientales, cuya aplicación más importante es como núcleo del modelo de gestión adaptativo de control por normas (2.4.2). Esto justifica plenamente la especificación dinámica (“prototipo”) expuesta en la sección 2.2.3, y su análisis cualitativo de estabilidad y resiliencia en el Anexo I.

Sin un sistema físico de sustentación, no hay posibilidad de integrar al marco analítico las leyes de la termodinámica. Esto se realiza en la sección 2.3, donde se construye un puente metodológico al proponer como fundamento del nexo SE-SA a los balances con flujos físicos y hacer viable una transformación de variables de un espacio-estados (acervos) a un espacio-flujos. Con estos elementos de macroeconomía física, podemos ahora precisar el significado analítico de ‘proceso de acoplamiento’ en su manifestación más concreta, como un proceso de materialización o desmaterialización. Se obtiene después una clase de indicadores-monitor que pueden usarse para: i) evaluar el desempeño ambiental del SE y ii) realimentar a las organizaciones en general (sistema de control) para revisar y si es necesario ajustar, algún “paquete” de normas-umbral ambientales.

Esto conforma la estructura del marco analítico que se construye para abordar la interdependencia SE-SA. Su requerimiento complementario e inevitable es la base empírica o sistema observacional para el que, por su importancia, se hace una exposición detallada en el Anexo II. Se finaliza con la sección 2.4 con una integración del marco analítico y el sistema observacional para prefigurar un modelo de gestión ambiental adaptativo de control por normas-umbral.

## 2.1 Perspectivas analíticas para tratar la interdependencia SE-SA en la *economía ecológica* (EcEc)

Esta investigación se inscribe en el recientemente fundado campo de conocimiento de la *economía ecológica* (1989) y se considera necesario iniciar con una breve exposición, *no* sobre los antecedentes históricos, sino más bien destacar las ideas fundamentales que conforman la identidad de esta escuela, pero siempre relacionando directamente a nuestro objeto de estudio.

La interdependencia entre un SE y sus SA es un objeto propio de la interdisciplina y, en particular, de 'interfase' entre dominios del conocimiento de la teoría económica y la teoría ecológica. Ya Marshall sugería que la economía debería acercarse más, a las ciencias de la vida que a la física. Fue la EcEc que toma esta sugerencia y, posteriormente, viene un gran desarrollo en esta dirección: integrar al análisis económico-ambiental las contribuciones relevantes de la ecología. C. Perrings (2002), uno de los fundadores más representativos de esta escuela, identifica cuatro grandes lecciones:

1. Comprensión de la dinámica de sistemas ecológicos jerárquicos, que ofrece nuevas formas de pensar el desarrollo económico.
2. Comprensión de factores que alteran la capacidad de carga y asimilación de los SA, que ha proporcionado una perspectiva diferente sobre la sustituibilidad entre capital producido (antropogénico) y capital natural.
3. Investigación de los vínculos entre biodiversidad y funciones ecológicas, que ha modificado la forma en cómo los economistas comprenden la interdependencia entre las decisiones de producción y consumo, y ofrece otras bases para la valuación de bienes y servicios ambientales sin mercado.
4. El trabajo sobre resiliencia de ecosistemas<sup>16</sup>, que brinda un enfoque novedoso para entender la estabilidad y sustentabilidad de un SE.

Son áreas temáticas propias a la teoría ecológica, pero dentro de la EcEc se elaboran puentes analógicos hacia la teoría económica. Los cuatro ámbitos temáticos están relacionados y, en alguna medida, se abordan en esta investigación, aunque específicamente se acota más a la resiliencia y sustentabilidad de un SE.

### ***Sobre las contribuciones de la teoría ecológica al análisis económico-ambiental***

El análisis de sistemas jerárquicos trata las interacciones entre componentes de ecosistemas a

---

<sup>16</sup> Un *ecosistema* es una comunidad de poblaciones biológicas y su medio ambiente abiótico, tratados juntos como una unidad funcional de relaciones complementarias (Whittaker, 1975). En una comunidad, las poblaciones biológicas interactúan unas con otras para formar un sistema, distinto en su estructura, composición y función. La comunidad y su ambiente interactúan estrechamente para transferir y circular materia desde una población a otra, como también a través del sistema completo (Amir S., 1989).

diferentes niveles de la escala espacial y temporal, y focaliza la atención en la estructura y la dinámica de los sistemas. Holling y Gunderson (2002) argumentan que la misma visión de un sistema multiescala debe aplicarse a los SE y los SA. Con un enfoque así, la escala importa y el espacio cuenta<sup>17</sup>.

Como importante también es la escala temporal en la estructura de un sistema, cuya especificación dinámica es una resultante de la interacción entre dos tipos de dinámica, la asociada a: los ‘sistemas grandes con cambios lentos’ y los ‘sistemas pequeños con cambios rápidos’<sup>18</sup>.

La aplicación práctica de una mejor comprensión de la ínter conectividad sistémica, en el espacio y el tiempo, implica directamente el nivel al cual se instrumenta la gestión de problemas ambientales; en la sección 2.4 se vuelve a abordar el tema ¿Cuál es el nivel pertinente al cual abordar un problema desde la gestión de la política ambiental? Una respuesta posible es el *principio europeo de subsidiaridad*<sup>19</sup>, el cual sostiene que al nivel más bajo posible que contenga todos los efectos relevantes.

Sobre la capacidad de carga y asimilación, en los años 70’s aparecen los primeros señalamientos sobre los límites ambientales al crecimiento (Randers y Meadows, 1972). Pero la posición se consolida en el breve artículo colectivo de Arrow *et al.* (1995), la tesis central es: la sustentabilidad del sistema global no es una ingenua concesión, es realmente una amenaza que debe ser enfrentada mediante programas de política. Sostienen que “...hay límites a la capacidad de sustentación del planeta”, que la actividad económica finalmente depende de una ...base de recursos que es finita“ y que nuestras instituciones requieren ser diseñadas para proporcionar incentivos ‘correctos’ con el fin de proteger la resiliencia de los ecosistemas”.<sup>20</sup>

Sobre los nexos entre biodiversidad y funciones ecológicas se consolida un enfoque de ‘*comunidades ecológicas*’. Los bienes y servicios proporcionados por los ecosistemas son el producto de una red infinitamente más compleja de interacciones entre especies organizadas por niveles tróficos y grupos funcionales. Las interacciones entre estas especies sustentan los ciclos biogeoquímicos y éstos la producción de bienes y servicios valiosos económicamente.

Por lo tanto, la *biodiversidad* importa también. Los ecólogos consideran inadecuado reducir la complejidad de los ecosistemas a un factor de producción como el ‘suelo’ (‘tierra’) o a una especificación del tipo ecuación de movimiento de un solo acervo de recurso (ecuación de balance).

De la teoría del crecimiento económico restringido por los recursos, una economía puede crecer porque existe la posibilidad de transformar capital natural en capital producido y

---

<sup>17</sup> En un sistema SE-SA las actividades humanas estructuran el ambiente que habitan otras especies y restringen su dinámica de reproducción. Por eso, la fragmentación del hábitat, como consecuencia del desarrollo económico, altera los vínculos y la dinámica de poblaciones no humanas.

<sup>18</sup> Esto implica que decisiones de corto plazo que afectan a los segundos, pueden tener consecuencias sobre el funcionamiento en el tiempo de los primeros -problemas típicos son los estudios epidemiológicos o dinámica de poblaciones, crecimiento explosivo de un agente infeccioso dentro de una población huésped-.

<sup>19</sup> Entendido como una acción que fortalece a otra principal, que es la sustentabilidad.

<sup>20</sup> La capacidad de carga o asimilación es realmente una restricción al potencial de crecimiento de una economía dependiente de los recursos. Por eso, la capacidad de sustentación es una función de la tecnología y las preferencias, así como de las condiciones ambientales. Más aún, como la asignación de recursos que mejora la capacidad de carga depende de precios relativos, es sensible también a condiciones de mercado (Arrow *et al.*, 1995).

ambos son formas sustituibles. La evidencia ecológica es que existe una fuerte complementariedad entre especies en el desempeño de sus funciones ecológicas y es más fuerte que la complementariedad entre tipos de capital producido; más aún, entre especies sustitutas el grado de sustitución cambia con las condiciones ambientales<sup>21</sup> (Perrings, 2002).

La analogía en la teoría económica implica pensar las especies individuales como elementos de un portafolio de activos cuyo desempeño varía en un rango de condiciones ambientales y de mercado. Si estas condiciones son desfavorables para una especie puede tener consecuencias irreversibles para el potencial de crecimiento económico.

Sobre la *resiliencia* de ecosistemas la ecología trabaja con un conjunto de medidas de estabilidad muy diferente que en la economía: 'resistencia', 'persistencia', 'resiliencia' y estabilidad. La resiliencia es una medida de resistencia al cambio y es entonces una medida de la estabilidad local. La persistencia es una medida de capacidad del sistema a durar en un estado y es una medida de estabilidad global del equilibrio correspondiente a ese estado. La resiliencia se interpreta de dos maneras distintas.

La primera es una medida de velocidad de retorno al equilibrio después de una perturbación (Pimm, 1984). Captura la estabilidad local de un sistema en equilibrio. La segunda debida a Holling (1973), mide el tamaño de una perturbación necesaria para dislocar un sistema de su dominio de estabilidad. Puesto de otra forma, es una medida del tamaño del dominio de estabilidad de algún atractor. Si el sistema está en un punto del dominio de estabilidad distinto del equilibrio, la resiliencia es medida por el tamaño de la perturbación que causará un salto a otro dominio de estabilidad (ver Anexo I).

Si la sustentabilidad de un sistema, depende de su capacidad para resistir las perturbaciones a las que está expuesto, entonces, la gestión de la sustentabilidad requiere una mayor comprensión del régimen de perturbación, la capacidad de absorción ambiental y las acciones a tomar con el fin de mantener el sistema en un estado fuera de una situación de riesgo. Common y Perrings (1992) argumentan que el concepto de resiliencia (a la Holling) es una forma de volver operativa la sustentabilidad. La resiliencia es la forma preferida para pensar sobre la sustentabilidad en sistemas sociales y naturales (Levin et al., 1998).

Dos aspectos del problema resultan ser particularmente problemáticos para la sustentabilidad del desarrollo económico. El primero es la importancia de umbrales, irreversibilidad e histéresis asociados con la transición de un estado a otro. Sin embargo, la posición al respecto es concluyente: Una estrategia de desarrollo no es sustentable si no es resiliente (ver Anexo I).

Un segundo aspecto es el papel de la heterogeneidad o diversidad en la resiliencia del sistema, en cualquier estado en particular. Una serie de ecosistemas son conocidos por existir en estados estables múltiples, siendo su resiliencia en cada estado dependiente de los usos económicos del sistema. En cualquier caso, la conexión entre usos económicos y resiliencia puede definir el término de 'impacto' sobre la composición de las especies que soportan funciones y procesos de los ecosistemas, ya sea por extracción o la disposición de desechos. Cambios en la diversidad de especies simultáneamente cambia la dinámica ecológica y el valor económico del sistema.

Mientras la importancia del portafolio de activos es muy comprendida en la gestión del

---

<sup>21</sup> Para los ecólogos, la 'redundancia' de especies indica que existen especies sustitutas que se adaptan mejor al desempeño de algunas funciones bajo las condiciones ambientales prevalecientes.



riesgo financiero, no lo es tanto cuando se trata de una mezcla de activos ambientales bióticos (especies) y abióticos durante la gestión de la sustentabilidad de un desarrollo económico basado en recursos.

Desde la perspectiva económica es importante entender el papel del sistema de precios, ya sea para señalar preventivamente o inducir cambios de estado de un sistema, pero cuando se involucra efectos de histéresis, los precios son insuficientes para señalar un cambio por anticipado (Mäler et al., 2003; Carpenter et al., 1999). A menor resiliencia del sistema mayor es el riesgo de irreversibilidad, de tal manera que vuelve muy difícil elaborar impuestos o cargos adecuados para resistir un cambio de estado o shock. Los instrumentos económicos puede emplearse para inducir la restauración de un estado si la situación no es irreversible, sin embargo, su fortaleza se debilita significativamente por los efectos de histéresis (Brock et al., 2002).

Un indicador crítico de la resiliencia de sistemas es su diversidad (Perrings, 2006). Esto armoniza con el entendimiento que los economistas tienen de la gestión del riesgo financiero<sup>22</sup>. La generalización analógica es la siguiente: la capacidad de un sistema SE-SA para funcionar dentro de un rango de condiciones sociales y ambientales depende de la combinación (mezcla) de activos en el sistema conjunto; el portafolio está conformado por activos financieros, producidos y naturales (ver sección 2.2.3). Como teoría de portafolio, un *trade-off* central sería entre productividad y resiliencia: sistemas más resilientes en el largo plazo no son necesariamente los más productivos en el corto. Tal *trade-off* ocurre para cualquier escala espacial, sistemas resilientes en una escala pueden no serlo en otra escala espacial.

Sin embargo, una estrategia de desarrollo sustentable requiere que el valor de la base de activos disponibles no descienda en el tiempo. En la perspectiva del concepto de resiliencia implica que la composición de los activos de base sea “críticamente” significativa. Una estrategia que concentra los activos en aquellas áreas de actividad que generan rendimientos altos en el corto plazo, casi siempre reducirá la resiliencia del sistema conjunto. Con mayor especificidad, una estrategia que agota elementos críticos de la naturaleza reducirá la capacidad del sistema para mantener su funcionamiento dentro de ciertas condiciones ambientales.

En síntesis, un punto crítico durante la concepción de una estrategia de desarrollo nacional, o regional, es la identificación de la escala espacial adecuada para garantizar que el correspondiente portafolio de capitales natural y producido sea balanceado (Perrings, 2006).

### ***Perspectivas analíticas para abordar la interdependencia SE-SA en la EcEc***

Entre 1990 y 1995 se publica un paquete de trabajos fundacionales de este campo de conocimiento<sup>23</sup>. Lejos de ser la EcEc una visión unificada, axiomáticamente, es más bien un espacio de convergencia plural de enfoques teóricos, de métodos y de técnicas de investigación que expresan el estado en desarrollo y la apertura hacia nuevos recursos analíticos para nuevos objetos de investigación. La EcEc es un campo de conocimiento consolidado, cuyas

---

<sup>22</sup> En la teoría de portafolios de activos.

<sup>23</sup> La historia comienza con la fundación de la *Internacional Society for Ecological Economics (ISEE)* en 1989 y la publicación del *Journal of Ecological Economic*. Algunos autores representativos de este periodo son: Costanza, R. (1991); Faber, M., Manstetten, R. and Proops, J. (1996); Jansson, A.M., Hammer, M., Folke, C. and Costanza, R. (Eds) (1994); Bergh, J.C.J.M. and Straaten, J. (1994); Boulding, K.E. (1966); Ayres and Kneese (1969), Daly (1968, 1973), Georgescu-Roegen (1971, 1979); Martinez-Alier (1987); Christensen (1989).

ideas empiezan a ser reconocidas y permear en la ciencia económica en general.

En el *mainstream*, antes y después de los 70's, el tratamiento del medio ambiente tomó dos campos distintos y separados: la *economía ambiental* y la *economía de los recursos*. La primera ignoró la base material para los flujos de desechos que generan contaminación e impactos sobre la calidad de los SA. La segunda, que usualmente ignora las inserciones al ambiente (disposición de desechos) y que necesariamente influyen sobre las extracciones ambientales o interdependencia. Ambos enfoques no dieron suficiente importancia a un principio de balance físico o de conservación de materia y energía.

Dos trabajos excepcionales en los años setenta, pero de poco impacto en su momento, incorporan este principio en un modelo de equilibrio general y de crecimiento óptimo, son los trabajos de Ayres y Kneese (1969), y D'Arce y Kogiku (1972) respectivamente. Sus contribuciones tempranas son reconocidas hasta los años noventa, cuando la noción de sustentabilidad está en el centro del análisis y adquieren relevancia las funciones generalizadas de sustentación de la vida, biodiversidad, cambio climático, entre otros temas críticos.

A más de una década de reflexión se consolida una identidad para la EcEc, C. Perrings (1995) la define como el estudio de la *interdependencia entre un SE y los SA*. En este periodo han surgido dos estrategias referenciales para su investigación. Una que emplea un marco analítico de economía del bienestar, contenido en el libro *The Economics of non-convex ecosystems* (2004), en especial los trabajos de Dasgupta y Mäler, Arrow K., Dasgupta y Mäler, y Chave y Levin. Y la otra, con un marco teórico diferente, que se recupera para la especificación dinámica en la sección 2.2.3, con base en trabajos de C. Perrings (1998; 1987)<sup>24</sup>.

La primera perspectiva de análisis teórico, o 'economía de los ecosistemas no-convexos', se documenta sólo el planteamiento general de la estrategia, pero no es objeto de una revisión en profundidad. Baste simplemente en señalar que la estrategia consiste en simplificar la complejidad de los procesos de interacción conjunta SE-SA reduciendo el problema a un solo sistema expuesto a una perturbación (shock), dada por un vector de variables de intervención humana (actividad económica general) sobre los SA, donde se distinguen dos grupos de procesos: los de extracción de recursos naturales y los de disposición final de desechos.

Dicha intervención ambiental se mantiene constante en el tiempo, se convierte en parámetro de un ecosistema, y se manipula analíticamente en el marco de una función de macro-regeneración de un "complejo" ambiental que representa a un conjunto de SA (Dasgupta y Mäler; 2004)<sup>25</sup>. Con ello se busca evaluar las consecuencias ambientales de la perturbación humana en términos de estabilidad del sistema.

La función de reproducción natural (sistémica) expresa las posibilidades de

---

<sup>24</sup> En el camino quedaron asimiladas las contribuciones pioneras de Barbier (1990, 1993, 1999), y Barbier y Markandya (1990); sólo se reconoce el mérito, pero no se requiere exposición alguna para las necesidades de esta investigación.

<sup>25</sup> Son funciones de producción que dependen del acervo de capital natural y un vector de intervenciones humanas, en un marco de economía del bienestar. Dicho abordaje metodológico permite simplificar el problema de determinación conjunta a un solo sistema que es perturbado induciendo fluctuaciones dinámicas estables o inestables si excede ciertos umbrales.

transformación material en los SA y conforman un conjunto no-convexo<sup>26</sup>. Esto ocurre ante la presencia persistente y fuerte de procesos de realimentación positiva ---externalidades (p. ej. contaminación) o fallas institucionales en general.

Cuando la función de macro-regeneración o de crecimiento de la biomasa ( $F(K)$ ) se especifica como una tipo convexa-cóncava<sup>27</sup> (p. ej. curva logística, usual en ecología de poblaciones), el problema es que los programas factibles no constituyen un conjunto convexo y, en consecuencia, el sistema de precios no es viable para implementar un programa óptimo<sup>28</sup>. Sin embargo, ni en la teoría económica hay mucho entendimiento aún sobre los mecanismos económicos de asignación de recursos en ambientes no-convexos (Dasgupta y Mäler; 2004; Arrow K., Dasgupta y Mäler; 2004)<sup>29</sup>. En esta línea de investigación está implícitamente presente el concepto crucial de resiliencia de ecosistemas (Holling C., 1973; Holling C. *et al.*, 1995; Perrings *et al.*, 1995; Levin and Barrett, 1998).

Una dimensión que mantiene un tratamiento implícito en los dos enfoques se refiere a los procesos de escala, cuando la “*espacialidad*” es fuente de muchas realimentaciones (positivas y negativas), origen de no-convexidades también. La razón de su importancia reside en la especificidad de los SA de poseer distribuciones desiguales y heterogéneas de capital natural (biodiversidad), los procesos ambientales operan sobre grandes extensiones y distancias en el espacio (territorialidad del hábitat) y una distribución desigual del vector de intervención ambiental o antropogénica, en el tiempo y en el espacio. Por esta razón las no-convexidades asociadas a los umbrales ecológicos se manifiestan como *fenómenos de escala* también. Este es otro aspecto usualmente no considerado en el análisis económico de ecosistemas.

Una de las “verdades” fundamentales en el estudio de sistemas naturales es que no hay una sola escala sobre la cual estudiar su dinámica (Chave y Levin, 2004)<sup>30</sup>. Por ello, importa reconocer que la escala condiciona la manera en que se describe el funcionamiento de los sistemas, cómo los patrones cambian a través de las escalas y cómo fenómenos y procesos a

---

<sup>26</sup> Se dice que un conjunto (p. ej. de posibilidades de transformación) es convexo si, a partir de un par de vectores-mercancías  $x$  y  $y$  es posible obtener  $z$  como una combinación lineal dada por  $z = ax + (1-a)y$ , para algún  $0 \leq a \leq 1$  y  $z$  contenido en él. En éste caso las mercancías equivalen a flujos físicos que intercambian las partes constitutivas de los SA.

<sup>27</sup> Una función  $F(K)$  es convexa-cóncava si  $F(K)$  es convexa a bajos valores de  $K$ , pero cóncava más allá de ciertos valores de  $K$  (p. ej. curva logística).

<sup>28</sup> Un *programa* es un pronóstico completo de la economía en horizonte temporal infinito, se representa por:  $\{K_t, C_t, dK_t/dt\}_0^\infty$ . Se dice que un *programa es factible* si cumple con  $dK_t/dt \leq F(K_t) - C_t$ , donde  $K$  representa acervo de capital natural y  $C$  componentes del vector de intervenciones humanas sobre los SA. Si  $F(K_t)$  es no-cóncavo el conjunto de programas factibles no es convexo. El problema estándar en economía del bienestar consiste en hallar el programa que maximiza:  $\int_0^\infty U(C_t, K_t) \exp(-\delta t) dt$ , donde  $\delta > 0$ , sujeta a la restricción anterior. Donde el flujo de bienestar social es una función cóncava estrictamente  $U(C_t, K_t)$ ;  $U$  es dos veces diferenciable en todo el dominio y  $\delta (> 0)$  la tasa de descuento de la utilidad.

<sup>29</sup> En esta perspectiva de análisis económico de ecosistemas del libro de Dasgupta y Mäler (2004), puede consultarse el “estado del arte” en los capítulos de J. Chave y S. Levin; R. J. Scholes; W. A. Brock y D. Starrett; K. G. Mäler, A. Xepapadeas y A. de Zeeuw; y A.S. Crépin.

<sup>30</sup> En ecosistemas, procesos al nivel de organismos completos representan dinámicas colectivas de células y moléculas que operan a escalas de tiempo mucho más rápidas, pero nunca dejar de ser partes constitutivas de procesos evolutivos que operan en escalas extensas en el espacio y lentos en el tiempo. De manera similar, organizaciones y economías (SE) exhiben dinámicas colectivas que emergen desde las conductas de agentes individuales, mediadas por escalas de interacción y agregación.

escalas distintas influyen unos con otros. Para abordar la interdependencia entre un SE y sus SA, las escalas juegan el papel de poner en concordancia cuerpos conceptuales aparentemente distintos e integrar procesos que operan a escalas diferentes, como ocurre en los sistemas adaptativos complejos (Vicsek, 2001; Chave y Levin, 2004).

En suma, el principio por destacar es que: fluctuaciones dinámicas y escalamiento son propiedades esenciales que están frecuente e íntimamente relacionadas<sup>31</sup>.

La segunda perspectiva de análisis teórico, o enfoque de Perrings sobre la interdependencia SE-SA, expuesto con detalle en la sección 2.2.3 y el Anexo I, sólo se destaca aquí la idea general de un sistema global de determinación conjunta que no es totalmente controlable, cuyo funcionamiento es necesariamente incierto y que, por ende, los procesos de decisión de política ambiental deben ser sensibles ante un *principio de precaución* (Perrings, 1987)<sup>32</sup>. Esta línea de investigación abre la posibilidad para analizar aspectos sobre un *sistema físico de sustentación* de un SE e integrar al análisis las leyes de la termodinámica.

En síntesis, esta es la mayor diferenciación de la EcEc de otros enfoques. Desde la obra de N. Georgescu-Roegen (1971) hasta los desarrollos más recientes usan con mayor frecuencia un principio de conservación o balance de materia y energía (1ª ley), y un principio de irreversibilidad (2ª ley)<sup>33</sup>.

En la actualidad el encuentro de disciplinas ha propiciado la transición hacia estrategias de construcción de marcos analíticos cuya especificación dinámica es más sensible y útil en el diseño y evaluación de política ambiental sustentable. Aun cuando el desarrollo sea incipiente, se cobra más conciencia sobre un *principio de precaución*, en cuya base están conceptos de *escala y umbral ecológico*, o límite crítico que no habrá de ser excedido nunca para evitar un tránsito por sendas irreversibles o sin posibilidad de control humano.

## 2.2 Marco analítico descriptivo de un sistema conjunto SE-SA

En esta sección se hace explícito el “lenguaje” empleado para una descripción y análisis de un sistema conjunto SE-SA. Esto es, se hacen las definiciones correspondientes al marco conceptual, se derivan conceptos relacionados con los básicos o primitivos, y se hacen algunas afirmaciones (‘postulados’)<sup>34</sup> para ordenar la exposición.

### 2.2.1 Conceptos básicos de un sistema SE-SA y elementos constitutivos del capital natural

---

<sup>31</sup> Es parte de la norma científica en física, química, biología, ecología, reconocer en el *escalamiento* una característica fundamental de un sistema. Y sucede así porque los sistemas que se investigan evolucionan, sin necesariamente converger a un estado estacionario, como es muy común en la teoría económica hacerlo.

<sup>32</sup> A mi juicio, la enorme virtud de usar el modelo de Perrings es que permite simplificar el tratamiento analítico de la interdependencia SE-SA, pues se asume una sola especificación dinámica para todas las escalas (implícitas; ver la sección 2.2.3).

<sup>33</sup> Es necesario destacar que la primera ley se ha convertido en la base para construir sistemas de contabilidad física en la Comunidad Europea.

<sup>34</sup> Se entiende como afirmaciones con diferentes niveles de certeza con respecto al ‘conocimiento’ involucrado. Sobre la base de los tipos de postulados identificados en el capítulo 1, los usados en la investigación no son afirmaciones derivables por deducción lógico-formal, algunas no verificables empíricamente, por eso se le denominan ‘afirmaciones a secas’, pero no es especulación “pura”.

Los conceptos iniciales son próximos a la teoría matemática del control. En general, la idea básica es que un *sistema* relaciona (conecta) variables input con variables output. La forma en que un sistema transforma unas en otras se expresa en cambios en sus variables de estado<sup>35</sup>, que por ejemplo pueden ser los niveles de acervos de capital producido (o antropogénico) y capital natural, como el “prototipo” de modelo dinámico usado en la sección 2.2.3<sup>36</sup>. Como la categoría de capital natural muy importante y de uso generalizado, en esta sección se hace una revisión e identificación de sus elementos constitutivos.

El concepto ‘sistema conjunto SE-SA’ se emplea en un sentido general, mientras no se hagan las acotaciones pertinentes, en el *Interludio 1* (sobre el concepto de ‘sistema’ y su estructura) se detalla el uso del término. Para empezar a precisar, se hacen las siguientes definiciones iniciales para los ‘SE’, ‘SA’ y ‘SE-SA’:

- D1.** Una economía o sistema económico (SE) en general, se define como el conjunto de actividades económicas o procesos de producción y consumo que se realizan dentro de cualquier espacio económico internacional, nacional o intranacional (regional).
- D2.** El medio ambiente vinculado a un SE es un conjunto complejo de procesos ambientales que representan a los ecosistemas reales dentro del área de influencia y se asume como la definición de sistemas ambientales (SA) asociados a un SE.
- D3.** Un sistema conjunto SE-SA es una representación analítica de la “fusión” de estructuras, escalas y especificaciones dinámicas correspondientes a un SE y sus SA asociados, más sus relaciones de interdependencia (ver representación esquemática en Figura 2.2-1).

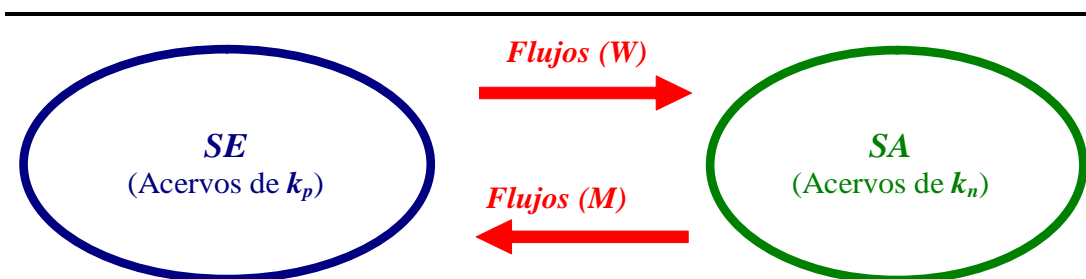


Figura 2.2-1. Sistema conjunto SE-SA: Interdependencia.

---

<sup>35</sup> Las variables input contienen el vector de control y algunas variables exógenas, y en el vector de variables output están contenidas aquellas variables que orientan las decisiones: variables de *mando o normas*. Las variables de control son aquellas que de acuerdo a la evolución de los output realimentan el sistema para regularlo y las variables exógenas, que sólo expresan la influencia del medio ambiente sobre un sistema.

<sup>36</sup> Cabe una aclaración, el llamado “prototipo” no es en estricto sentido un modelo de control. C. Perrings, autor de la propuesta, en otros trabajos hace desarrollos en esta dirección (Perrings, 1997b).

## **Interludio 1: Sobre el concepto de ‘sistema’ y su estructura**

En un contexto propio de la interdisciplina, como la ciencia ambiental, es casi siempre muy conveniente realizar una descomposición analítica, usualmente jerárquica, del objeto de estudio en las partes constitutivas del todo (o realidad). El primer nivel y básico consiste en distinguir un *sistema* (p.ej. empresa, industria, economía nacional) y un *ambiente*. Una definición puede auxiliar en la precisión de los conceptos.

Un sistema consiste de un conjunto (‘ensamble o arreglo’) de componentes o elementos relacionados cada uno con características (propiedades) o atributos. El conjunto de sistemas externos son llamados *sistemas-ambiente*; éstos producen inputs que son transformados por el sistema para convertirse en outputs. La transformación de inputs es generada por la operación de procesos del sistema (Heijungs, 2001: 36).

Lo cual quiere decir que en el núcleo o base del funcionamiento de cualquier sistema están los procesos<sup>37</sup>. Los sistemas son *estructuras* (arreglos o ensambles) de procesos: sin procesos no hay sistemas. Por ende, los procesos de transformación de elementos inputs en elementos outputs pueden describirse analíticamente mediante variables de estado y de flujo. El *estado* de un sistema queda definido por las propiedades (atributos; por ejemplo, variables de acervos) que sus partes o elementos muestran cada momento en el tiempo. Cambios de un estado a otro del sistema originan *flujos*, que se definen en términos de las velocidades de cambio del valor de los atributos del sistema (variación de acervos). Así, el *desempeño* o *funcionamiento* de un sistema puede describirse mediante los cambios en el tiempo en los estados sistémicos.

Hasta aquí es claro que la definición de *frontera del sistema* es fundamental para distinguirlo de ‘su’ ambiente asociado, que es la vecindad inmediata y exterior con la cual establece relaciones de interdependencia. Por ejemplo, las interacciones entre un SE y sus ecosistemas (medio ambiente o los SA) son las emisiones de contaminantes y la extracción de recursos. El desempeño del SE está limitado por su propia estructura, por la naturaleza de los SA y por la naturaleza de las interacciones SE-SA.

\* \* \* *Fin de Interludio 1...* \* \* \*

Sin embargo, la frontera entre un SE y SA asociados no es siempre explícita. Hemos empleado la escala espacial para determinar el “tamaño” de un SE (en D1) y mediante algún

---

<sup>37</sup> Se recupera el sentido de la contribución de Georgescu-Roegen (1971). Si *proceso* es cambio y cambio no puede ser concebido de otra manera que una relación entre una ‘cosa’ y su “otro”, entonces para representar analíticamente un proceso hay que dividir el “todo” en sus partes, donde una de ellas es un proceso parcial o simplemente proceso a secas (*proceso económico unitario*, según Heijungs; 2001), determinado por un propósito o interés particular, y la otra parte es su alrededor o medio ambiente. Tal separación del todo lleva implícito un límite o frontera (virtual) entre ambas partes: “Sin frontera analítica no hay proceso analítico”, diría Georgescu-Roegen (1971: 211-213). Más aún, sostiene que, compartimentalizada la realidad bajo estudio, sin un conocimiento del dominio del fenómeno es difícil definir la frontera de un proceso. Un proceso analítico no está divorciado del propósito, es en sí mismo una noción primaria de él, pero nunca debe ser reducido a otras nociones mediante definición formal. En consecuencia, un *proceso analítico* tiene dos componentes fundamentales: su *duración* (finita) y su *frontera*.

criterio que contenga información sobre el ‘alcance espacial’ de las consecuencias ambientales del desempeño de un SE, podría ser acotada la llamada ‘área de influencia’ (en D2). Para un análisis de este tipo debe preservarse en lo posible compatibilidad en la escala espacial.

Desde esta perspectiva un *sistema* puede tomar cualquier representación analítica siempre que reproduzca, tanto como sea posible, fielmente la interconectividad interna y externa. Para esto se requiere de modelos desagregados por categorías jerárquicas propias a la naturaleza de los sistemas por estudiar. Para el caso de un SE, la teoría económica nos ofrece más posibilidades de representación que el estándar de equilibrio general competitivo; mientras para el caso de los SA, la teoría ecológica igualmente nos ofrece también más de una posibilidad de especificación analítica (Ver en Suh, 2005 y Hannon, 1997).

Sin embargo, aún no es necesaria una especificación desagregada para describir un SE y sus SA y postular relaciones fundamentales de conectividad intersistémica. Se considera pertinente iniciar con una inspección a la interdependencia SE-SA al nivel de acervos de capital antropogénico (o producido) y capital natural, como variables del análisis que sintetizan estructuras y mecanismos de control de los sistemas implicados. Debido entonces a que la categoría de ‘capital natural’ es fundamental para este análisis, vamos a delimitar sus elementos constitutivos y precisar su uso para los fines de la sección 2.2.3.

### ***Elementos constitutivos del capital natural***

En el marco del análisis económico la teoría del capital ha quedado como asignatura pendiente después de que la famosa controversia de los dos Cambridge quedó inconclusa y se olvidó<sup>38</sup>. En los años noventa, cuando la Ec-Ec extiende la categoría del capital para integrar al capital natural, los “viejos” problemas ya observados en el debate sobre la función de producción neoclásica persisten (por ejemplo, la heterogeneidad en los factores). No se encuentran aún formas convincentes para tratar analíticamente el concepto de capital natural dentro del marco de una función de producción y menos “bien comportada”<sup>39</sup>.

La salida ha sido más bien pragmática al seguir usando la categoría de capital como *metáfora*<sup>40</sup>. Hay esfuerzos por precisar el concepto y distinguir un activo de capital natural de cualquier otro convencional, recuperando el análisis de flujo-fondo de Georgescu-Roegen (England, 1998; 2000)<sup>41</sup>; una preocupación central es evitar el riesgo de confundir activos con flujos de ingreso<sup>42</sup>. Sin embargo, hoy sólo es posible identificar mejor los *elementos constitutivos* del capital natural, sobre todo a la luz de los avances en la teoría ecológica. Esto es suficiente para abordar muchos problemas, incluso explorar en técnicas de medición.

La investigación se apega, entonces, al conocimiento disponible para precisar los conceptos usados en nuestro marco analítico. Para tal fin, identificamos como elementos básicos del capital natural a tres tipos de acervos y dos tipos de flujos ‘primitivos’, éstos siempre

---

<sup>38</sup> Este debate clásico está bien documentado en los trabajos G. Harcourt (1969), Cohen y Harcourt(2003).

<sup>39</sup> R. Heijungs (2001) ofrece un tratamiento a la Georgescu-Roegen (1971) para representar procesos de producción, ver más adelante.

<sup>40</sup> Como nadie se incomoda muchas veces al usar funciones de producción bien comportadas, como la neoclásica.

<sup>41</sup> Son dos referencias centrales para elaborar esta sección.

<sup>42</sup> Artículos sobre este debate puede consultarse en las diferentes publicaciones de la *Ecological Economics*, ha sido uno de los temas recurrentes.

exógenos a todo sistema (económico y ambiental):

1. La masa biológica total disponible ( $\mathbf{B}$ ), organizada en ecosistemas que contienen el conjunto de poblaciones no-humanas y no-producibles,  $\mathbf{B}=(B_1, \dots, B_m)^{43}$ .
2. La masa del acervo total de materiales abióticos, finito (M), que contiene al acervo total de los recursos llamados ‘agotables’ (combustibles fósil y nuclear) más los ‘renovables’, por la vía de su mantenimiento (agua y aire) o por el reciclaje<sup>44</sup> (minerales en el sentido más amplio); lo representamos por el vector  $\mathbf{R}=(R_1, R_2, \dots, R_k)$ .
3. La superficie total del sistema conjunto SE-SA (S), es un dato (constante). Fundamentalmente, este espacio es ocupado por los diferentes SA ( $S_B$ ) y por las actividades humanas ( $S_H = S - S_B$ ); en particular, el espacio ocupado por el hábitat natural es compartido por el total de poblaciones de especies biológicas ( $B_1, \dots, B_n$ )<sup>45</sup>.
4. Los parámetros externos o fuera del control humano ( $\emptyset, e$ ). El flujo input de radiación solar ( $\phi$ ), para nuestros fines se trata de un parámetro externo constante, aunque en rigor científico no lo sea. Pero también, por leyes de la termodinámica se requiere tomar en consideración un flujo output (e) de energía degradada (aumento de entropía) hacia un espacio exterior en nuestro caso, hacia fuera de la frontera del sistema SE-SA<sup>46</sup>.

Brevemente, lo anterior se sintetiza en la siguiente afirmación:

- P1.** Todo sistema conjunto SE-SA dispone de una *base de recursos naturales* (dotación) dada por:

$$(\mathbf{B}, S_B, \mathbf{R}; \emptyset, e),$$

se denomina a este arreglo el *capital natural* ( $k_n$ ) ‘incorporado’ en los SA. Las diferentes combinaciones particulares conforman *tipos* de capital natural (“portafolio”).

Sin energía ( $\phi$ ) no hay posibilidad de cambios a ningún nivel de los acervos naturales y sin espacio ( $S_B$ ) no hay reproducción de un sistema ambiental, por eso el arreglo básico lo incluye; el siguiente esquema ilustra los elementos de una “unidad básica” de sistema ambiental (SA). En principio, y provisionalmente, los acervos de capital natural pueden tratarse mediante

<sup>43</sup> Este es un vector de  $n$ -poblaciones o especies biológicas diferentes, que puede incluir la componente de la población humana ( $L=B_H$ ), todos “renovables” por naturaleza. Así, un vector completo podría ser:  $\mathbf{B}=(B_1, \dots, B_n, B_H)$ , son todos recursos bióticos.

<sup>44</sup> Cuando su dispersión espacial es muy alta se vuelve incosteable su recuperación, en este sentido, se puede hablar de “agotable” por los requerimientos de energía para realizar las actividades correspondientes. Ya que no hay proceso de transformación material 100% eficiente (2ª Ley de la termodinámica), cualquiera que sea la profundidad del cambio tecnológico.

<sup>45</sup> Por más de 50 años los ecólogos han usado un indicador de densidad o número de especies (en equilibrio) localizados en un área o sitio específico:  $B_i=B_i(S_B)$ . Esta relación expresa que los tamaños de las poblaciones de especies varían directamente con el área ocupada por los ecosistemas o hábitat ( $S_B$ ).

<sup>46</sup> Esta especificación es de validez universal, en tanto que el espacio exterior a la tierra es el sumidero general de todos los flujos ( $\emptyset, e$ ), cualquiera sea la localización espacial del sistema conjunto SE-SA.



un número índice<sup>47</sup> tal que  $k_n = k_n(\mathbf{B}, \mathbf{R}, S_B; \phi)$ .

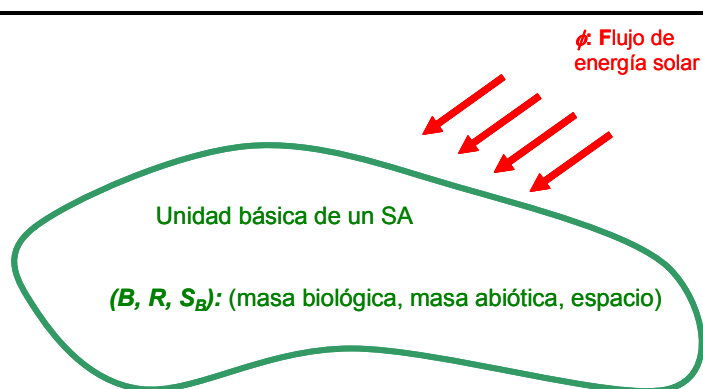


Figura 2.2-2. “Unidad básica” de un sistema ambiental (SA)

Las variantes o combinaciones del arreglo  $(\mathbf{B}, \mathbf{R}, S_B; \phi)$  describen grandes clases o tipos de capital natural asociados a ecosistemas particulares, de tal forma que, con conocimiento proveniente de la teoría ecológica, se conjetura, podrían proponerse relaciones funcionales que representen la estructura y dinámica del conjunto de diversos tipos capital natural, en sus niveles de jerarquización y complejidad, por ejemplo, agregados mediante el vector de funciones:  $k^n_i = k^n_i(\mathbf{B}, \mathbf{R}, S_B; \phi)$ , con  $i=1, 2, \dots, m$  clases de  $k^n$ . Incluso a un nivel más agregado podríamos trabajar simplemente con el conjunto de acervos agregados llamados *tipos de capital natural* (o “portafolio” de activos naturales), “compactado” en un vector:  $\mathbf{k}_n = (k^n_1, k^n_2, \dots, k^n_m)$ .<sup>48</sup> Sin embargo, este nivel de descripción es difícil de trabajar porque no se dispone de base empírica para ello. Se continúa la argumentación en el nivel de mayor agregación con respecto a los acervos de capital natural.

En consecuencia, con esta estructura mínima podemos identificar como agentes<sup>49</sup> relevantes de los procesos de transformación material de un sistema conjunto SE-SA a: *i*) las poblaciones de especies biológicas no producibles por humanos ( $\mathbf{B}$ ), *ii*) las “poblaciones” de medios de producción durables o portafolio *bienes de capital producido*,  $\mathbf{k}_p = (k^p_1, \dots, k^p_m)$ ; *iii*) la población total de seres humanos con sus diferentes cualificaciones ( $L = B_H$ ); y *iv*) el espacio total

<sup>47</sup> Los números-índice se usan para reducir y resumir la abrumadora abundancia de información empírica. Un tratamiento especializado, y comparativo con la técnica de análisis de descomposición estructural, puede encontrarse en Hoekstra R. and van der Bergh J.C.J.M. (2002; 2000).

<sup>48</sup> Tal vez es ocioso decir que para muchos propósitos, por ejemplo, como seguir la “pista” a la disipación entrópica de materiales, sería deseable desagregar cada acervo global en una matriz de componentes de acervos físicamente homogéneos, pero espacialmente específicos.

<sup>49</sup> Serían los elementos tipo *fondo* en la perspectiva de Georgescu-Roegen (1971).

ocupado por las actividades de estos agentes ( $S=S_B+S_H$ ).<sup>50</sup>

Así como la representación del capital natural es un ensamble complejo o combinación natural de elementos básicos  $\{B, S_B, R\}$ <sup>51</sup>, análogamente lo es el capital producido, otro ‘ensamble’ complejo o combinación antropogénica del conjunto de elementos básicos siguiente:  $\{k_p, S_H, L, k_n\}$ <sup>52</sup>. Este arreglo general representa la categoría de capital producido o antropogénico ( $k_p$ ) y puede contener también ‘incorporado’ al factor trabajo ( $L$ ), plenamente diferenciado como capital humano ( $k_H$ ).<sup>53</sup>

No obstante, la frontera para distinguir entre capitales  $k_n$  y  $k_p$  será siempre difusa. Por ejemplo, hay un tipo de capital natural, biológicamente bajo control humano (especies “domesticadas”), que es capital producido porque lo genera la actividad humana y es auténtico capital en tanto genera una corriente de ingresos en el tiempo. Usualmente ocupa espacios en las proximidades o dentro de un hábitat ( $S_B$ ) y mientras no se cosechan cumplen con ciertas funciones ambientales como la protección del suelo, recolector de agua pluvial (etc.) y durante el ‘periodo de maduración’ pueden operar como “auténtico” capital natural (por ejemplo, bosques maderables, huertos, viñedos, etc.). Mediante estos arreglos pueden representarse capitales específicos, formas concretas de acuíferos, sistemas atmosféricos, capa de ozono, depósitos minerales y de combustible, sistemas climáticos (etc.)

Con ello reconocemos al capital natural su *carácter esencial* en el análisis, como parte de un sistema global que produce mercancías<sup>54</sup> (un SE) y preserva necesariamente los activos naturales constitutivos de los sistemas ambientales (SA). En consecuencia, la afirmación anterior (P1) se complementa con la afirmación siguiente:

- P2.** Todo sistema conjunto SE-SA posee un *potencial de transformación para el desarrollo* determinado por las dotaciones de acervos (“riqueza”) tanto del SE como de los SA, representados por un arreglo general o *base total de recursos disponibles* dado por:

$$(k_p, S_H, L, B, S_B, R).$$

Más aún, podría representarse por un arreglo equivalente denominado *portafolio de capitales disponibles por una sociedad* sustentada en un sistema conjunto SE-SA, dada por un par de vectores:  $(k_n, k_p)$ .

En principio, mediante combinaciones particulares de los acervos pueden representarse los múltiples estados posibles de un sistema, e indirectamente, mediante los flujos equivalentes

<sup>50</sup> Este espacio ‘apropiado’ realiza la función (servicio) ambiental no sólo de sustentación, sino también de colector de energía solar, por lo tanto de sustentación de la vida sobre el planeta en general. Por eso se le considera como un elemento-fondo a la Georgescu-Roegen.

<sup>51</sup> Como parámetro fuera del control humano (exógeno), se elimina el flujo de radiación solar ( $\phi$  y  $e$ ) sin pérdida alguna para el análisis.

<sup>52</sup> Como mercancía, son bienes de capital que requieren de medios de producción de periodos pasados para su generación.

<sup>53</sup> Implícitamente puede quedar integrado mediante alguna función de producción agregada tal como, por ejemplo:  $k_H = k_p + \sigma L$  (con  $\sigma > 0$ ).

<sup>54</sup> Propiamente entendemos como mercancía todo ‘objeto económico’ susceptible de ser intercambiado y, por lo tanto, que genera dos corrientes básicas, una real (producto) y otra monetaria (ingresos y gastos).

input y output que se generan, podemos representar la conexión entre procesos de transformación material de un SE y sus SA, y dentro de ellos (intra-sistemas), de tal forma que, en conjunto conforman una estructura o “red” de flujos de intercambio del sistema SE-SA.

Esta es la primer pieza del marco analítico requerido para representar los procesos de interdependencia SE-SA, al mayor nivel agregado posible, dado por los tipos de capital en general:  $(k_n, k_p)^{55}$ . Sin este ensamble general o “portafolio” de activos es imposible que sociedad alguna funcione, se desarrolle y asegure formas de reproducción: evolucione.

### 2.2.2 Sistema físico de sustentación de un sistema SE-SA

En consecuencia, el arreglo general  $(k_p, S_H, L, B, S_B, R)$ , como potencial de transformación para el desarrollo de un sistema conjunto SE-SA, puede ser una forma de representación analítica de un conjunto de procesos de interdependencia SE-SA, y que al nivel más agregado está dado por:  $(k_n, k_p)$ . Este ‘potencial’ es como un “fondo” multifuncional que sustenta o es fuente de generación de un conjunto de flujos:

1. *flujos inputs* al SE ( $M$ ) provenientes de los acervos materiales ( $R$ ) de los SA;
2. *flujos output* del SE, en particular los flujos de desechos ( $W$ ); y
3. *flujos de servicios ambientales* ( $E=(E_1, \dots, E_s)$ ), son output de los SA e input para el SE. Normalmente no tienen contraparte, ni monetaria ni física, se disfruta de ellos porque se conservan los acervos de capital natural; esto es, si componentes de  $B$  son positivos entonces existen componentes de  $E$  positivos también.

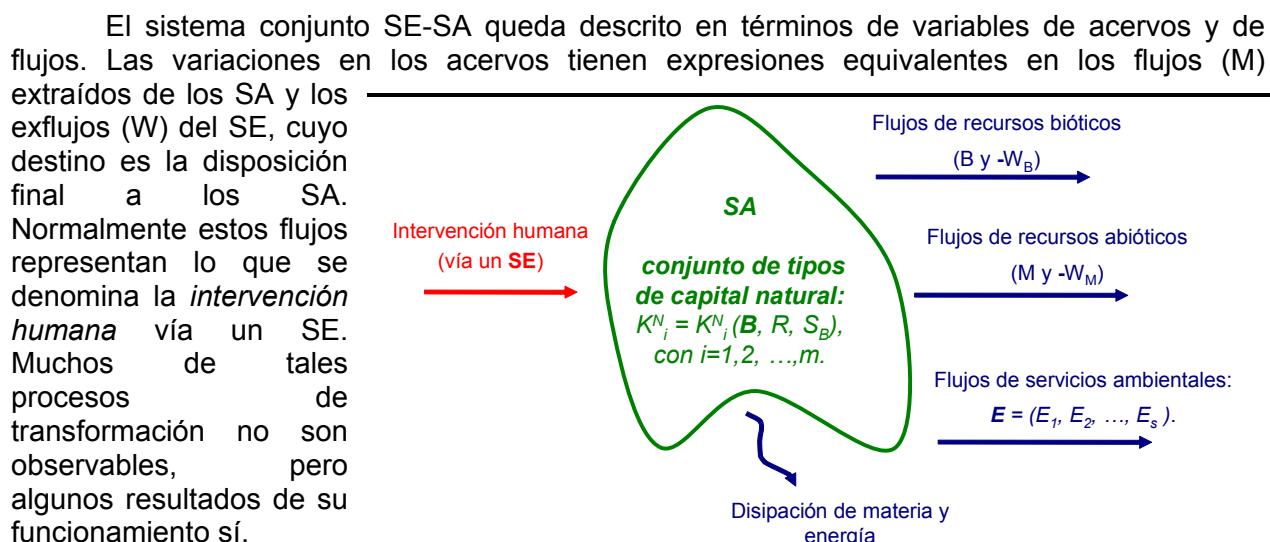


Figura 2.2-3. Vista parcial del sistema conjunto SE-SA

Los principios que explican los procesos de cambio dentro de un SE

y dentro de los SA son objetos de la teoría sustantiva en la economía y en la ecología respectivamente. El proceso completo (“ciclo”) de interdependencia SE-SA se muestra en la

<sup>55</sup> Como de hecho se hace en la sección 2.2.3, con la estructura dinámica más básica (“prototipo”), para representar el proceso de interdependencia SE-SA, de la cual pueden obtenerse resultados muy importantes, a mi parecer.

figura 2.2-1 (sección 2.2.1) y tiene una vista parcial (lado de los SA) en la figura 2.2-2.

En un SE se concibe la actividad económica como aquella que genera el flujo circular del ingreso. En esquemas contables I-O el ingreso generado por los diferentes agentes económicos sigue una trayectoria circular: los ingresos de unos son los gastos de otros, las ventas de unos son las compras de los otros. Las mercancías y los servicios factoriales fluyen en un sentido y la unidad de cuenta (dinero) lo hace en sentido contrario. Las transacciones que forman el *círculo del ingreso* expresan las interacciones entre agentes e interpretación de señales (precios y cantidades) en los diferentes niveles de actividad económica. Así, una representación analítica para un SE debería poder explicar:

1. los determinantes de los intercambios entre agentes económicos;
2. los niveles y las composiciones de las magnitudes involucradas en esos intercambios (variables de flujo y acervos, en valores económicos); y
3. las evoluciones temporales de los niveles y las composiciones.

De manera similar, se puede disponer una base teórica y una base empírica (descripción contable) para construir una representación analítica para los SA y estar en condiciones de explicar:

1. los determinantes de los intercambios entre subsistemas funcionales como partes constitutivas de ecosistemas “completos” (comunidades biológicas...etc.); operativamente los ecólogos las representan mediante ‘compartimentos’;
2. los niveles y las composiciones de las magnitudes involucradas en esos intercambios (variables de flujo y acervos, en valores físicos); y
3. las evoluciones temporales de los niveles y las composiciones.

No todos estos aspectos están resueltos, ni en lo que compete a la teoría económica, ni en lo correspondiente a la teoría ecológica. En los tres aspectos en ambas disciplinas hay trabajos importantes, pero no es objeto de esta investigación<sup>56</sup>.

Cabe señalar que los flujos que circulan por el SE están medidos en valores económicos; en particular, si los flujos M y W (ver figura 2.2-1) que intercambia con los SA estuvieran también cuantificados en unidades de monetarias, tales valores no tendrían ninguna importancia para la dinámica de crecimiento o reproducción de los SA (capital natural). Lo que sí aportaría información valiosa para establecer nexos de interdependencia serían las mediciones de los flujos M y W en unidades físicas.

En consecuencia, a un nivel muy agregado<sup>57</sup> es posible afirmar que existen relaciones que vinculan variaciones entre los niveles de acervos y los flujos input y output de un sistema: *sin acervos no hay flujos*.

---

<sup>56</sup> Esta dirección sería una de desarrollo de modelos dinámicos desagregados para un SE y para sus SA, más las relaciones funcionales que conectan ambos sistemas.

<sup>57</sup> Desde una perspectiva fenomenológica equivale a ver el SE y los SA como “cajas negras” de las cuales se observan solo flujos input y flujos output. Por analogía, con la termodinámica clásica importa sólo conocer los estados inicial y final, y no la trayectoria que los vincula.

- P3.** Para un sistema SE-SA, se asume que los acervos  $k_n$  son *esenciales* y siempre que sean positivos habrá acervos  $k_p$  positivos también. Si esto es cierto, entonces debe existir un *circuito de flujos de ingreso* y un conjunto de flujos  $M \geq 0$  y  $W \geq 0$ ; son los flujos inputs y outputs de un SE o *intervención ambiental o humana*.

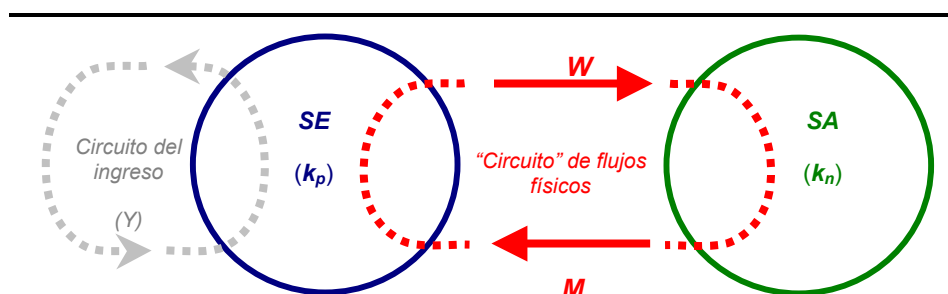
Como nos recuerda Georgescu-Roegen (1971), las actividades o procesos económicos son también procesos de transformación material (física y química) de inputs en outputs, donde rigen las leyes de la termodinámica hasta el proceso más básico o elemental. Con esto es posible emplear a cualquier nivel de agregación de un SE un principio de conservación; es decir, operativamente pueden instrumentarse balances de materia y energía<sup>58</sup>. Esto significa que puede haber una representación del lado físico de un SE, y por lo tanto se asume que:

- P4.** Así como el *circuito del ingreso* es propio a todo SE, existe un “*circuito*” de flujos y acervos físicos intrínseco a todo sistema conjunto SE-SA, medido en unidades físicas.

Es claro que un circuito de flujos físicos está conformado por las ‘demandas’ de materia y energía (flujos) del SE y por las ‘ofertas’ (flujos) de los SA que cubren tales requerimientos. Con estos fundamentos podemos ahora establecer la siguiente definición:

- D4.** Se define al **sistema físico de sustentación de un SE-SA** como aquel cuya descripción analítica está delimitada (acotada) al *circuito de flujos físicos* entre un SE y sus SA asociados.

En suma, con esta estructura mínima podemos representar un sistema conjunto SE-SA según el esquema de la figura 2.2.-4.



**Figura 2.2-4.** Sistema conjunto SE-SA: circuito de flujos físicos y circuito del ingreso.

Para construir un marco analítico cuyo objeto de estudio sea la interdependencia SE-SA, requerimos de tres elementos: 1) una representación analítica para un SE, 2) una representación analítica para los SA asociados y 3) relaciones fundamentales que conectan ambos sistemas.

<sup>58</sup> Esta vía de cuantificación de los flujos físicos en un SE como nexo con los SA es posible y de hecho se trabaja fuertemente en Europa.

La teoría económica ha desarrollado modelos muy desagregados para resolver su tarea (por ejemplo, modelos de crecimiento multisectorial). La teoría ecológica ha hecho la suya también, ha desarrollado modelos muy desagregados (para ecosistemas particulares) de intercambios de flujos físicos (materia y energía; ver en Suh (2005) un estudio-*survey*). Sin embargo, los primeros miden los flujos y acervos en valores económicos y los segundos, en valores físicos. Ninguna de las dos teorías aisladamente ha resuelto el problema del acoplamiento dinámico de un SE y los SA, que es propiamente el manejo de la interdependencia SE-SA.

Se considera que trabajar con altos niveles de desagregación no es necesariamente la forma única de abordar la interdependencia SE-SA. Sin embargo, para continuar con la especificación descriptiva de la esfera real del sistema conjunto SE-SA, se presenta un problema para el cual se hace explícita una reducción crucial, que simplifica el problema complejo siguiente.

Si cualquier sistema está bien descrito (completo) mediante una *especificación dinámica*, que describe sus fluctuaciones, y por las *escalas de manifestación* de los fenómenos o procesos que contiene, entonces ¿cada escala debe tener su correspondiente especificación dinámica o hay una sola para todas las escalas o casos intermedios como un modelo dinámico para varias escalas?

Por lo tanto, para simplificar vamos a suponer que:

- P5. (Reducción):** El análisis del proceso fundamental de interdependencia SE-SA, a un nivel muy agregado:
- i) está circunscrito *estrictamente* al sistema físico de sustentación y
  - ii) puede representarse por *un solo tipo de especificación dinámica para todas las escalas de ambos sistemas (SE y SA)*.

¿De qué tamaño es la simplificación?: Considerable. En la sección 2.1 se exponen cuatro grandes lecciones de la teoría ecológica, la primera corresponde a la necesidad de comprender la dinámica de los sistemas ecológicos jerárquicos, sólo baste recordar que se trata de sistemas anidados que coexisten a diferentes escalas de tiempo y espacio, y cada uno con su propia dinámica. Respetar esta jerarquía de sistemas vuelve muy complicado su manejo analítico y verdaderamente difícil encontrar una forma de regulación o control social del sistema conjunto SE-SA, que es nuestro foco de atención.

La simplificación mediante **P5** deja “encriptada” la naturaleza jerárquica de los ecosistemas a la particularidad de poder identificar sólo umbrales sistémicos siempre que se tenga una especificación de dinámica macroagregada, co-dependiente de la evolución de un SE, como la propone C. Perrings (1997a) y se recupera en la sección 2.2.3.

Con ello se alcanza un manejo relativamente simple del sistema analítico sin sacrificio sustantivo de los conceptos medulares de un análisis de sustentabilidad. Este es un caso básico, de ninguna manera es general, a partir del cual pueden extraerse resultados significativos para la concepción de política ambiental sustentable.

### 2.2.3 Sobre la especificación dinámica de la interdependencia SE-SA: Un “prototipo”

Cuando los ecólogos analizan mediante recursos analíticos el comportamiento de ecosistemas expuestos a presiones persistentes y severas, y los economistas analizan la contribución de las

actividades económicas que estos ecosistemas sustentan, ambas visiones asumen que la dinámica de los ecosistemas es independiente (o cuasi) del desempeño de la economía. Usualmente quedan fuera efectos diversos de realimentación entre componentes de los dos sistemas que interactúan; especialmente, efectos conjuntos cuya especificidad está en su carácter acumulativo (*procesos con memoria*), que se manifiestan como efectos o consecuencias ambientales con rezagos en el tiempo.

Una de las pocas propuestas en esta dirección<sup>59</sup>, pero fundamental, es el trabajo de C. Perrings (1987; 1997), el cual es recuperado para esta investigación. La construcción teórica de origen ubica en el centro un problema ambiental de máxima complejidad: la pérdida de biodiversidad. En sus propios términos, se trata de una estrategia de modelación con tres fundamentos:

- i) naturaleza evolutiva del sistema conjunto (SE-SA);
- ii) significado de los efectos de escala y umbral; y
- iii) baja capacidad de control y observación sobre los SA, y por tanto, presencia generalizada de incertidumbre.

Una concepción con estas bases involucra implícitamente efectos espaciales y temporales distantes y altamente inciertos. Algunos de esos efectos tienen características de bienes públicos locales y otros de bienes públicos globales.

### **Sistema global SE-SA: Sustentabilidad y estabilidad<sup>60</sup>**

Para todo tiempo  $t$ , sea  $\mathbf{k}=\mathbf{k}(t)$  un vector de activos o capital disponible para el sistema global; con  $k_i \geq 0$ , para cada uno de los tipos de capital o  $i$ -ésimo activo. Se identifican los dos grupos o clases fundamentales de capital, el llamado capital natural ( $k_n$ ) y el capital producido o antropogénico ( $k_p$ ):

$$\mathbf{k}(t)=\mathbf{k}(k_p(t), k_n(t)) \quad (2.1)$$

Las ecuaciones de movimiento del sistema conjunto SE-SA para cada grupo de capital, en forma general:

$$\dot{\mathbf{k}} = f(\mathbf{k}) \quad (2.2)$$

De forma explícita:

$$\dot{k}_n(t) = F(k_n, k_p); \quad F : K \rightarrow K \quad (2.3)$$

$$\dot{k}_p(t) = G(k_n, k_p); \quad G : K \rightarrow K \quad (2.4)$$

---

<sup>59</sup> Una documentación diversa en enfoques analíticos se encuentra en *Models of Sustainable Development* (Faucheux, Pearce y Proops, 1996).

<sup>60</sup> Del marco teórico de C. Perrings (1997, cap. 3).

donde  $K$  es el conjunto abierto que representa el espacio-estado del sistema, y la  $G$  y la  $F$  son las funciones de crecimiento del capital antropogénico y del capital natural respectivamente. Como podrá observarse este marco de referencia es un modelo de acervos (capital producido y natural), en sus variaciones está sintetizado el conjunto de la interacción sistémica SE-SA y que, implícitamente, equivalen a los flujos que se generan.

Por su aplicabilidad general para nuestro análisis, se toma una especificación dinámica que se corresponde con el diagrama de fases de la figura 2.2-5<sup>61</sup>. El detalle sobre el análisis de la dinámica SE-SA o análisis cualitativo de estabilidad para esta especificación se encuentra en el Anexo I.

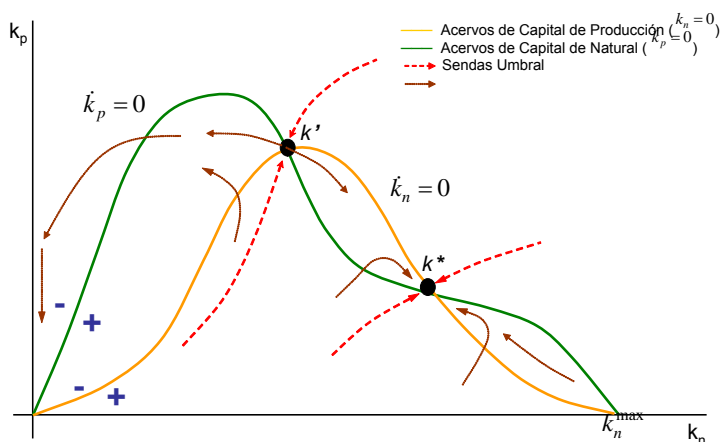


Figura 2.2.5. Sistema conjunto SE-SA: sendas de fase significativas

En términos generales,  $k^*$  es un equilibrio de este sistema de ecuaciones, es *estable* si todas las soluciones próximas a  $k^*$  permanecen en la vecindad y es *asintóticamente estable* si todas las soluciones próximas a  $k^*$  tienden a  $k^*$  (sumidero, ver figura 2.2-5). Una observación directa se extrae del tipo de dinámica escogida:

**P6.** El sistema conjunto SE-SA es intrínsecamente finito, cualquiera sea la combinación de tipos de capital (“portafolio”), habrá siempre dos condiciones límite de finitud:

- i) el punto  $(k_n, k_p) = (0, 0)$ , condición de finitud absoluta; y
- ii) el punto  $(k_n, k_p) = (k_n^{max}, 0)$ , condición de finitud parcial.

Si el *trade-off* global se plantea en términos de tipos de capital, entonces es creíble que puedan existir trayectorias ‘críticas’ de evolución del sistema que van de una crisis gradual al colapso, sobre todo cuando el sistema global se contrae... y se contrae más aceleradamente.

Las trayectorias críticas podrían localizarse en la región a la izquierda de la *senda umbral* o de equilibrio ‘alto’  $k'$  (ver figura 2.2-5); a la derecha queda definida la región donde las sendas son factibles económica y ecológicamente (sustentables) y que, en términos prácticos, precisa el dominio de las políticas ambientales viables.

Para una perspectiva de largo plazo el cuerpo de definiciones centrales asociadas a un sistema conjunto SE-SA son:

1. **Desarrollo:** Un SE que tiene un nivel de acervo de capital producido ( $k_p$ ) será más

<sup>61</sup> En el artículo de C. Perrings (1997a) hay tres posibilidades dinámicas de especificar este sistema SE-SA, o “historias” posibles de evolución, y son: 1) SA dominantes respecto del SE; 2) SE es dominante respecto a la capacidad de los SA; y 3) el viable económica y ecológicamente, que es el recuperado para este trabajo. En todos los casos la acumulación de capital antropogénico es positiva si el acervo de capital natural es positivo.



desarrollado que otro con un nivel ( $k'_p$ ), si  $k_p > k'_p$ . El proceso de desarrollo es definido por el proceso de expansión del acervo de capital antropogénico y el nivel de desarrollo es medido por el *valor* de ese acervo.

2. *Sustentabilidad*: Un SE en cualquier nivel de desarrollo,  $k_p$ , se dice que es sustentable si  $\dot{k}_p + \dot{k}_n \geq 0$ , para toda  $t$ .

Esta es la condición Hicks/Lindhal de ingreso sustentable: valor del acervo de capital agregado no decreciente en el tiempo; no implica que ambos componentes de  $k$  sean no-decrecientes, pero sí es directo derivar que  $\dot{k}_p = \dot{k}_n = 0$  representa una condición suficiente para la sustentabilidad del desarrollo.

Una simple combinación de criterios expresada por el respeto a una condición basal (suficiente),  $\dot{k}_p = \dot{k}_n = 0$ , más una condición de desarrollo,  $\dot{k}_p \geq 0$ , más la condición de sustentabilidad,  $\dot{k}_p + \dot{k}_n \geq 0$ , su resultante se sintetiza en el concepto combinado:

3. *Desarrollo sustentable*: como el desarrollo de un SE que se dice sustentable si  $\dot{k}_p \geq 0$  y  $\dot{k}_p + \dot{k}_n \geq 0$ .

En otras palabras, está presente en esta definición un corolario que se expresa así: durante el proceso general de desarrollo el capital natural puede reducirse en periodos finitos de tiempo, pero en el largo plazo éste debe ser no-decreciente; esta es tal vez la condición que más consenso genera en la EcEc.

Algunos otros supuestos que caracterizan la estructura dinámica del sistema son: 1) existe algún acervo máximo de capital natural determinado por el potencial biótico y disponibilidad finita de recursos abióticos del sistema ( $k_n^{max}$ ); y 2) capital natural es esencial para la creación de capital producido,  $F(k_n, k_p) = 0$  si  $k_n = 0$ , y no es posible sustituir completamente capital natural por capital producido.

Debido a que una condición suficiente para la sustentabilidad del sistema es que  $\dot{k}_p = \dot{k}_n = 0$ , se implica entonces que los equilibrios definidos por la intersección de las curvas  $\dot{k}_n = 0$  y  $\dot{k}_p = 0$  son sustentables también.

Con una estructura analítica de esta naturaleza C. Perrings prefigura implicaciones de política al nivel de criterios generales para una estrategia de desarrollo sustentable en dos vertientes, que son propiedades críticas del sistema conjunto SE-SA: i) resiliencia a lo largo de la senda de desarrollo y ii) su nivel de control humano. La discusión sobre estabilidad y resiliencia se encuentra en la sección 3 del Anexo I.

Si las condiciones estructurales para el control de los componentes ecológicos del sistema global no se cumplen, y si el sistema es observado de manera imperfecta (deficiente) entonces, para cualquiera de esos componentes cuyo estado esté cerca de sus umbrales de resiliencia, existirá un potencial de efectos no anticipados o 'catastróficos' que pueden llevar al sistema hacia estados muy alejados de la fuente de cambio original. Estos son los riesgos del desarrollo dentro de un sistema finito. Por lo tanto, una estrategia de desarrollo es sustentable si es resiliente; esencialmente es una estrategia que ofrece garantías contra estos riesgos (Perrings, 1997; pp. 61). Está contenido entonces un principio de precaución.

En una formulación más general<sup>62</sup>, como un problema de control ambiental en una economía de mercado, es posible analizar la gestión de un sistema global SE-SA como un problema de control en la ecología: interdependencia dinámica de poblaciones que determinan la magnitud de los cambios futuros. En este marco el papel de las restricciones sobre poblaciones de especies o acervos de recursos (biomasa) no importa una función de crecimiento propio (de especies o acervos) sino más bien una que exprese su rol sobre la estabilidad de los SA a los cuales se pretende proteger; un problema de fragmentación del hábitat puede trabajarse de manera natural en un marco así. Pero también se pueden derivar argumentos en favor de la planeación ambiental por control de acervos naturales.

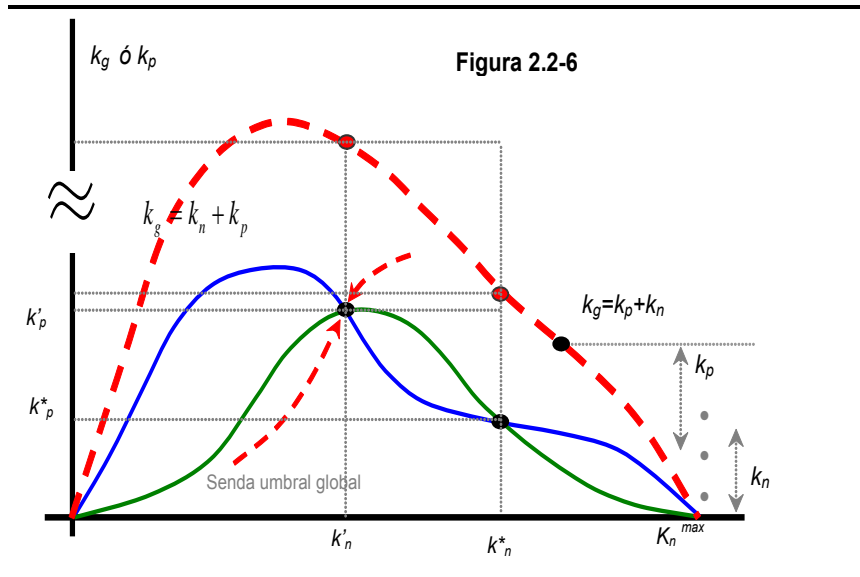
### 2.2.4 Usos analíticos y proceso de generación de una norma-umbral ambiental

Esta sección contiene dos usos analíticos que se derivan de la especificación dinámica para la interdependencia SE-SA de la sección anterior. Uno es la propuesta de una *regla de transformación* de equivalentes entre formas de capital producido y natural, es general y conforma lo que podría denominarse “métrica”. Es un uso auxiliar porque es un apoyo del segundo uso analítico de la dinámica SE-SA, el sustantivo, que consiste en una forma de generar una norma-umbral ambiental. Este resultado se conecta directamente en la sección 2.6 cuando el marco analítico se integra en el modelo gestión ambiental como el *núcleo* del mecanismo de *control por normas*. Por esta razón afirmo que se justifica plenamente el empleo de la dinámica anterior.

#### Uso analítico I (auxiliar): Regla de transformación entre formas equivalentes de capital producido y natural

Ahora simplemente se propone una *agregación vertical* de niveles de acervos de capitales para derivar una curva de capital total o global en el espacio-fase  $(k_n, k_g)$ , y esto tiene como requerimiento cubrir el asunto relativo a una “métrica”. Si asumimos alguna como dada, esto permitiría medir sobre el eje vertical el resultado de la agregación  $(k_g)$  también; como se muestra en la siguiente figura 2.2-6.

Como las curvas de estado estacionario para los capitales natural y producido muestran de origen su condición de finitud, y si fuera entonces posible contar con una métrica confiable para agregar estos capitales, es obvio que este resultado  $(k_g)$  sería también una “campana” o curva U-invertida (línea punteada superior); representa al nivel más agregado posible la finitud de un sistema conjunto SE-SA. Si es así, entonces la agregación debe permitir construir un conjunto de *reglas de transformación*



<sup>62</sup> Ver Capítulo 2 de Perrings (1997).

de entre formas de capital equivalentes, en términos de ‘valores económicos’ (unidad de medida en  $k_p$ ) o de ‘valores físicos’ (unidad de medida en  $k_n$ ).

Como se ha mencionado, la interdependencia de estos dos sistemas radicalmente distintos (SE y SA) tiene como mecanismo básico que las variaciones en los acervos de capital disponibles ( $k_p$  y  $k_n$ ) están expresando directamente la conectividad (*no-autonomía*) de ambos sistemas, mediante un conjunto de flujos con valores económicos y un conjunto de flujos físicos asociados, intrínsecamente; éstos últimos tienen la especificidad de formar parte fundamental de un SE y sus SA. Los flujos de valores económicos son exclusivos del circuito de ingreso de un SE, como se ha expuesto en secciones anteriores.

Por esta razón, se argumenta que la conexión sistémica (SE-SA) debe ser mediante balances de flujos físicos (ver sección 2.3). No obstante que la elaboración de una métrica no es un requisito indispensable para realizar esta tarea, sí lo sería para elaborar un marco analítico “completo” para el sistema conjunto SE-SA. En el siguiente interludio se ofrece una propuesta muy preeliminar de “métrica” o posibles *reglas de transformación entre equivalentes* ( $RT_{eq}$ ).

## **Interludio 2. Sobre una regla de transformación entre formas equivalentes de capital producido y natural ( $RT_{eq}$ ).**

La estructura lógica de la regla genérica consiste en: i) establecer los referentes o fijar una base contra la cual se puede comparar objetos diferentes por naturaleza; por ejemplo,  $k_p$  y  $k_n$ ; ii) cada objeto distinto se compara contra una base para obtener *formas equivalentes* para  $k_p$  y para  $k_n$ ; y iii) las formas equivalentes sí son agregables.

Hay dos posibles resultados porque hay dos posibilidades de establecer la base para la comparación. Una primera que convierte  $k_p$  y  $k_n$  a formas *equivalentes* al compararlos contra una base donde el “tamaño” de los SA es dado o fijo (medido por  $\bar{k}_n$ ), y que es una base de sustentación de un conjunto de posibilidades de valores  $k_p$  o “tamaños” relativos del SE. De manera similar, una segunda posibilidad, se interpreta como las posibilidades de valores  $k_n$  (tamaños de los SA) que sustentan un tamaño dado del SE (medido por  $\bar{k}_p$ ).

**$RT_{eq}$  1:** Si la base o referencia para la comparación de valores  $k_p$  y  $k_n$  es:  $\alpha^E = \alpha^E(k_p, \bar{k}_n)$ , entonces la regla de transformación a formas equivalentes o agregables de acervos de capital está dada por:

$$RT_{eq}^E : \{k_p(t) + \alpha^E \cdot k_n(t)\} \rightarrow \{k_g^E(t)\} \quad (2.5)$$

Los valores medidos en ‘valores económicos’ con unidad de medida en términos de  $k_p$ .

**$RT_{eq}$  2:** Si la base o referencia para la comparación de valores  $k_p$  y  $k_n$  es:  $\alpha^F = \alpha^F(\bar{k}_p, k_n)$ , entonces la regla de transformación a formas equivalentes o agregables de acervos de capital está dada por:

$$RT_{eq}^F : \{\alpha^F \cdot k_p(t) + k_n(t)\} \rightarrow \{k_g^F(t)\} \quad (2.6)$$

Los valores medidos en ‘valores físicos’ con unidad de medida en términos de  $k_n$ .

En suma, las realizaciones de estado del SE y los SA, representados por el par de valores distintos  $(k_p, k_n)$ , donde cada componente es elemento de los conjuntos  $\{k_p(t)\}$  y  $\{k_n(t)\}$ , se comparan según la regla ‘ $RT_{eq} 1$ ’ o la ‘ $RT_{eq} 2$ ’, que son “mapeos” hacia los conjuntos  $\{k_g^F(t)\}$  y  $\{k_g^E(t)\}$ , respectivamente, los cuales representan a los conjuntos de formas equivalentes de valor de los capitales.

Los coeficientes  $\alpha$ ’s son los “pesos” relativos que permiten la transformación a formas equivalentes, son determinados estructuralmente y resumen también el “portafolio” general de capitales con el que dispone un sistema SE-SA. Se conjetura que estos coeficientes son indicadores del nivel de escasez relativa de tipos de capital, si son medidos para un mismo nivel capital total ( $k_g$ ).

Este uso analítico auxiliar de la especificación dinámica SE-SA es consistente con el criterio de desarrollo sustentable:  $\dot{k}_p \geq 0$  y  $\dot{k}_p + \dot{k}_n \geq 0$ . Y como podrá observarse una vez más, en última instancia nada nuevo: todo proceso de valuación es siempre una forma de relativizar, asignando “pesos”, para comparar objetos de intercambio en principio distintos.

\*\*\*... Fin de Interludio 2 ...\*\*\*

### Uso analítico II (sustantivo): Proceso de formación de una norma-umbral ambiental

Después de este pasaje sobre apoyos auxiliares, retomamos la reflexión justo en el tema sobre cómo se genera una norma-umbral ambiental con la especificación dinámica expuesta. Se concluía que las posibilidades de control humano de los estados SE-SA, bajo los efectos de políticas de gestión ambiental, deberían localizarse hacia la derecha de la senda umbral global (figura 2.2-7). Incluso donde los estados del sistema son combinaciones con altos niveles de acervos de capital natural y bajos de capital producido (estado abajo y a la derecha de  $k^*$ ).

Sin embargo, si el proceso de desarrollo es visto como un fenómeno que describe la conversión de capital natural a producido, por tanto equivalente a un proceso de acumulación de capital producido, entonces serían preferibles estados del sistema arriba y a la izquierda de  $k^*$ .

¿Qué tan lejos de la senda que pasa por el punto de equilibrio ‘alto’ ( $k^*$ ) debe estar un sistema? pero también ¿qué tan alejado de la senda que pasa por el punto de equilibrio ‘bajo’ ( $k^*$ )? Con la especificación dinámica dada,

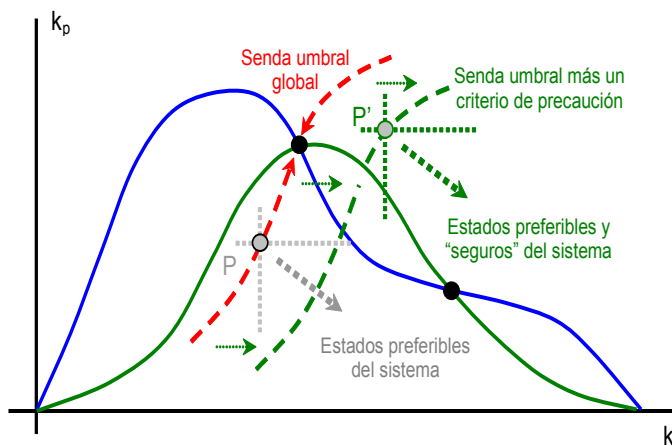


Figura 2.2-7. Senda umbral global y principio de precaución

no alcanza para una elaborar una respuesta precisa a estas preguntas.

Aunque lo que sí es posible en el espacio-estado de capitales es identificar una región o dominio muy acotado donde los estados del sistema SE-SA son ‘críticos’, esto se hace mediante la incorporación de un criterio de precaución al marco analítico presentado.

Es usual en la EcEc hablar de un principio de precaución que engloba todos las fuentes de incertidumbre asociadas a los procesos SE-SA. Intuitivamente aquí se piensa como un “colchón” que evite que el sistema alcance la frontera límite o *senda umbral global*; como zona de alerta que mediante monitoreo y corrección por “normas” se ajuste el sistema. En consecuencia, explícito en nuestra interpretación está un criterio de precaución o de protección contra la incertidumbre e irreversibilidad de procesos durante la gestión ambiental.

Si suponemos que tal referencia límite es la senda umbral, se puede representar en el diagrama de fases un principio de precaución mediante un corrimiento hacia la derecha de tal senda; una tolerancia que impone una nueva frontera virtual que no deben alcanzar los estados realizados del sistema SE-SA, alejada de la senda umbral tanto como lo determine el estado del conocimiento. Con ello se restringe o acota aún más el dominio de operación de la política ambiental sustentable (ver Figura 2.2-7).

Tome un punto P (arbitrario) sobre la senda umbral global, cualquier estado del sistema SE-SA preferible a P está localizado hacia la derecha y abajo de él; procedimiento que puede replicarse hasta cubrir todos los puntos de la frontera umbral o crítica. En esta región se encuentra la senda umbral desplazada que contiene un margen de protección ante la incertidumbre o principio de precaución. De manera idéntica, abajo y a la derecha de P’ se encuentran los estados preferibles y “seguros” en el sentido de que la resiliencia del sistema es estable o tiene márgenes (reservas) para sustentar actividades humanas (Figura 2.2-7).

Sin embargo, desde la perspectiva del desarrollo, como proceso de acumulación de capital producido, estados alrededor del punto de equilibrio ‘bajo’ ( $k^*$ ) y muy a la derecha, serían socialmente inaceptables por sus bajos niveles de bienestar, son estados asociados a economías de subsistencia: altos acervos de capital natural y bajos de capital producido.

Por lo tanto, es directo concluir que el dominio para la intervención o control humano del sistema está contenido dentro de una región acotada por los dos equilibrios,  $k^*$  y  $k'$  (ver figura 2.2-8).

Queda así identificado un dominio para las políticas de gestión ambiental viables y que tienden hacia la sustentabilidad en el largo plazo, representado por la región del espacio-estado acotada a la derecha de la senda umbral con criterio de precaución, pero dentro del cuadro sombreado (ver figura 2.2-8).

Como no se tiene información para precisar el criterio de precaución, esto es, el cómo hacer analíticamente el corrimiento de la senda umbral-global, considere el caso más simple, un

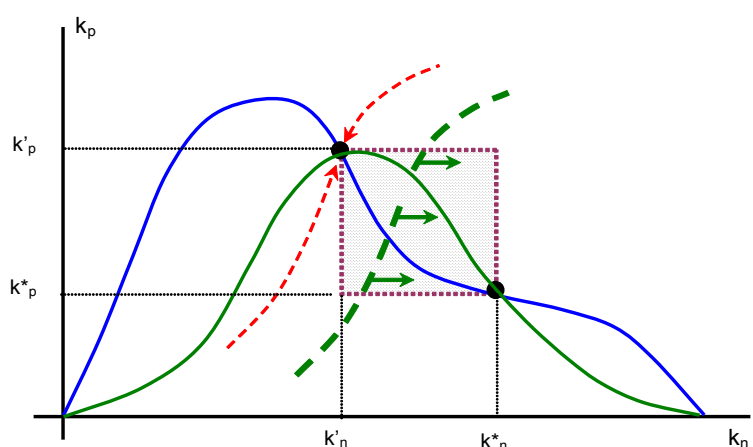


Figura 2.2-8. Dominio de las políticas de gestión ambiental viable y sustentable

desplazamiento proporcional constante<sup>63</sup> (paralelo), como se muestra en la figura 2.2-8.

Con el apoyo de la figura 2.2-5, sea  $k''=(k''_n, k''_p)$  un estado cualquiera del sistema alrededor de la ‘senda umbral-desplazada’ o con un criterio de precaución incorporado, y  $R$  el conjunto de los números reales, entonces podemos hacer las siguientes definiciones:

**D5a.** Se define el conjunto  ${}^vD_k$  como el dominio de operación viable, económica y sustentablemente, de un sistema SE-SA mediante:

$${}^vD_k = {}^vD_{k_n} \cap {}^vD_{k_p}; \quad (2.7)$$

donde  ${}^vD_{k_n} = \{k_n \in R : k'_n < k_n < k_n^*\}$  y  ${}^vD_{k_p} = \{k_p \in R : k_p^* < k_p < k'_p\}$ .

**D5b.** Se define el conjunto  ${}^nD_k$  como el dominio viable, pero operable bajo un *control por norma-umbral ambiental*, de un sistema SE-SA mediante:

$${}^nD_k = {}^nD_{k_n} \cap {}^nD_{k_p}; \quad (2.8)$$

donde  ${}^nD_{k_n} = \{k_n \in R : k'_n < k_n \leq k_n^*\}$  y  ${}^nD_{k_p} = \{k_p \in R : k_p^* \leq k_p < k'_p\}$ .

En otras palabras,  ${}^nD_k$  define un *conjunto potencial de normas-umbral ambientales*. Tiene el calificativo de ‘potencial’ en tanto avanza el conocimiento científico y la recopilación sistemática de datos como para precisar que cualquier elemento de este conjunto ( ${}^nD_k$ ) puede fundamentarse como una posible *norma ambiental específica o concreta* (ver figura 2.2-9).

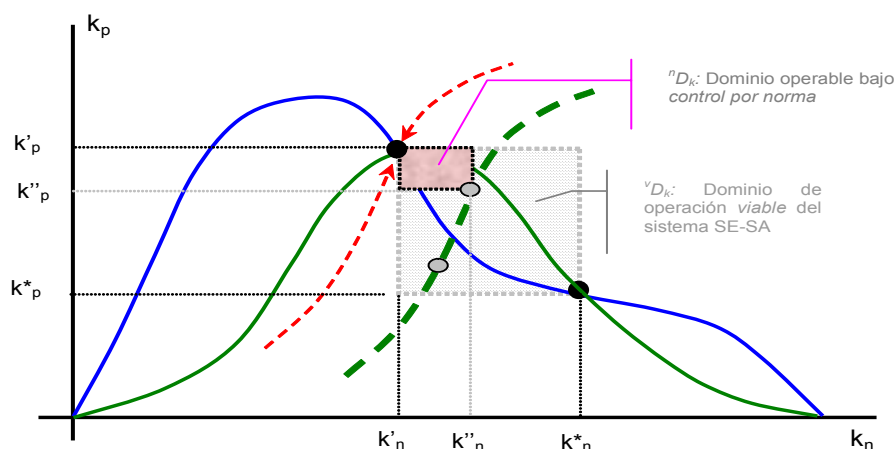


Figura 2.2-9. Sistema conjunto SE-SA: Proceso de formación de una *norma-umbral ambiental*

En consecuencia, con el auxilio de la figura 2.2-9 es directo visualizar que el primer dominio contiene al segundo, es decir:  ${}^nD_k \subset {}^vD_k$  y, además, se puede derivar la siguiente afirmación:

<sup>63</sup> Por ejemplo, un corrimiento ‘no-proporcional’ implicaría que no se preservara geoméricamente la forma de la senda umbral-global.

- P7.** Cualquier estado del sistema SE-SA dado por  $\mathbf{k}=(k_n, k_p)$ , es *viable económica y sustentablemente* siempre que  $\mathbf{k} \in {}^v D_k$  y evoluciona bajo un régimen de gestión ambiental por *control por normas-umbral ambientales*, si  $\mathbf{k} \in {}^n D_k$ .

A mi juicio, el análisis de esta sección es una justificación adicional y sustantiva de la especificación dinámica empleada, porque no es otra cosa que un proceso de formación de una norma-umbral ambiental. Entendido en última instancia como un proceso de acotamiento (permanente) de los rangos de variación de los estados del sistema, en principio, bajo un mayor control humano del sistema conjunto SE-SA. Este es el núcleo de un marco analítico de gestión adaptativo de control por normas que se propone en la sección 2.4.2.

Cuando el desempeño de un sistema se desvía de las normas, varios mecanismos de regulación pueden operar para intervenir y ajustar el sistema de regreso en la dirección de las normas. Si un control no es satisfactorio en un modelo abstracto, generalmente, no puede mejorarse mediante la elaboración de una esfera real muy desagregada. Si el control es satisfactorio en un modelo más agregado, entonces los controles recomendados deberían analizarse con la ayuda de modelos más detallados.

## 2.3 Elementos para un marco analítico de macroeconomía ambiental o física

### 2.3.1 Macroeconomía y leyes de termodinámica: Introducción

Se ha destacado que la especificación dinámica anterior (sección 2.2-3), intrínsecamente, contiene una condición de finitud del sistema conjunto SE-SA, la cual está determinada por la regularidad estructural o forma de curva U-invertida. En esta sección se argumenta que tal condición de finitud sistémica es compatible con la integración de las leyes de la termodinámica (1ª y 2ª) al análisis económico-ambiental y, por lo tanto, en un marco analítico más general, discutir tesis como: el crecimiento de un SE no es ilimitado, está restringido, esencialmente, por lo ambiental.

Esta fue una preocupación de las aportaciones teóricas pioneras (Dasgupta and Heal 1974; Mäler 1974; Solow 1974; Stiglitz 1974) y desarrollos posteriores, del análisis del crecimiento económico en un contexto de escasez de recursos naturales agotables<sup>64</sup>. Sin embargo, esta dirección del análisis no consideró adecuadamente el hecho que la extracción de recursos naturales, su transformación (física y/o química) en los procesos de producción y la emisión posterior como desechos materiales, son procesos de transformación de materia y energía regidos por leyes de la termodinámica. Este “ciclo” importa porque imponen restricciones adicionales a la actividad económica. Georgescu-Roegen (1971) criticó las funciones neoclásicas de producción porque no reflejan adecuadamente la naturaleza irreversible de estas transformaciones y porque se confunden cantidades de flujo con la de fondo (Kurz y Salvadori, 2003; Heijungs, 2001). Dasgupta y Heal (1979, Cap. 7) demuestran que tomar en cuenta el principio de conservación implica sustituibilidad restringida entre insumos de materia y energía.

---

<sup>64</sup> Toman como base la teoría del crecimiento neoclásico, incluso para el crecimiento endógeno, y se extiende simplemente incluyendo una variable adicional de insumos por recursos materiales (naturales) en una función de producción agregada convencional o neoclásica. Con propiedades estándar de sustituibilidad entre factores de producción, producto marginal decreciente positivo, y tiende a cero o infinito si los inputs de recursos se hacen muy grandes (infinito) o muy pequeños (cero), esto es, cumple con las condiciones de Inada.

Más recientemente, Baumgärtner (2004) demuestra que las condiciones Inada son inconsistentes con el cumplimiento de la 1ª ley de la termodinámica. Este análisis revela que hay límites termodinámicos estrictos a la productividad de los recursos en la producción de cierto número de materiales, ya que no todos son limitantes<sup>65</sup>. Su conclusión es que el crecimiento económico está restringido por 1ª y 2ª leyes de la termodinámica, o que no es siempre sostenible todo nivel de consumo. Este es un resultado que requiere de investigación detallada por tipo de material y desplazar el énfasis del debate del crecimiento agregado a uno de nivel más detallado: de sustitución de factores y cambio estructural Baumgärtner (2004).

También reciente, pero con una estrategia diferente, F. Krysiak (2005), en el marco de un modelo general de producción y consumo (equilibrio general), demuestra que en economías que contienen procesos irreversibles (todas las reales) son necesarios inputs de recursos y emisiones diferentes de cero (no-cero) para sostener un nivel positivo de consumo. Este resultado lo generaliza a un marco dinámico y lo aplica para discutir crecimiento y sustentabilidad confirmando resultados.

En suma, es cada vez más rica la literatura en este campo y se consolidan resultados en el sentido de que las *restricciones físicas no son redundantes* y muy probable es que la actividad económica dependa críticamente de los recursos naturales y de la capacidad ambiental de asimilación de los desechos generados; excepto en economía con procesos de producción y consumo totalmente reversibles, ninguna realmente existente (Krysiak, 2005).

En consecuencia, aún con la posibilidad “infinita” de acumular más capital humano y producido, las restricciones físicas imponen que: *más producción de una mercancía-física, bajo producción de entropía marginal no-decreciente, requerirá necesariamente de más uso de recursos (materia y energía)*.

Con este fundamento, ligado a la afirmación dada en el P5 (Reducción), de que el análisis de la interdependencia SE-SA se circunscribe al sistema físico de sustentación y a un tipo de especificación dinámica para todas las escalas del sistema, podemos asumir que:

- P8.** El nexo fundamental entre un SE y sus SA asociados está regido por un principio de conservación de la masa, cuya expresión operativa son los balances con flujos físicos de materia y energía<sup>66</sup>.

Con ayuda del aparato analítico elaborado, ahora sí estamos en condiciones de construir un “puente” metodológico entre la especificación dinámica con acervos de capital y el análisis con flujos físicos que genera la interdependencia SE-SA.

Básicamente, consiste en analizar el desempeño ambiental de un SE, representado por su vector de intervenciones (o “presiones”) ambientales, medidos por los flujos físicos input y

---

<sup>65</sup> El modelo base es de multiproducción, cumple con un balance de materiales y su cadena productiva consiste en producir bienes intermedios a partir de recursos básicos y una mercancía para todo uso final desde los bienes intermedios. El resultado principal es que tanto el producto marginal como el producto medio de un insumo de recurso material están acotados por arriba, justo por un parámetro tecnológico dado la porción de recurso material contenida en el output (ver Baumgärtner, 2004).

<sup>66</sup> Todo proceso transformación material, sea o no económico, necesariamente está gobernado por un principio de conservación y otro de eficiencia sistémica (o irreversibilidad), 1ª y la 2ª leyes de la termodinámica, respectivamente. La *ley de conservación* postula que: la masa puede ser transformada, transportada o almacenada, pero no puede ser creada ni destruida. La forma operativa del balance será siempre: flujos *inputs* materiales son iguales a los flujos *output*, ajustados por cambios en los acervos físicos o término de acumulación de la ecuación de balance para un sistema.



output del mismo SE. Por el principio de conservación, estos mismos flujos cualitativa y cuantitativamente deben ser iguales a los flujos físicos input y output de los SA; concretamente, representan el tamaño de las perturbaciones a los SA que genera sostener un nivel de consumo o bienestar.

El alcance metodológico para evaluar el desempeño ambiental de un SE puede llegar hasta el cálculo del vector de intervenciones (o “presiones”) ambientales o tener un mayor alcance de las consecuencias ambientales, hasta donde sea posible: evaluar el “ciclo”. Con el primer tipo de cálculo se hace una abstracción (aisla) el funcionamiento simultáneo de los SA.

### 2.3.2 Sobre el nexa entre un SE y sus SA

Existe un consenso creciente en la EcEc en considerar que el sistema físico de sustentación no es redundante y tiene que medirse y registrarse sistemáticamente porque los intercambios de flujos físicos (materiales/energía) son un recurso fundamental e inevitable para evaluar, monitorear y diseñar, índices y políticas de desempeño ambiental sustentable de un SE<sup>67</sup>.

Si se mantiene un alto nivel de agregación de las variables del análisis, compatible al usado en la sección 2.2, donde los acervos generan los flujos, y en las afirmaciones P7 y P8 se delimita el alcance del análisis económico-ambiental a un sistema físico de sustentación del SE-SA, con un nexa fundamental dado por relaciones de balance con flujos físicos, en consecuencia, los balances de materia y energía deben ser consistentes a cualquier nivel de agregación de las variables de análisis, siempre que se disponga de registros contables sistemáticos (base empírica).

#### **Nexa entre un SE y sus SA mediante balances con flujos físicos**

Para realizar un balance es necesario definir el sistema alrededor del cual se establece el marco de estudio. Por considerar que un SE es analíticamente más conocido en términos de registros contables, se toma como el sistema de referencia para establecer un corte metodológico que es equivalente a crear una *interfase* o frontera virtual entre un SE y sus SA<sup>68</sup> (ver figura 2.3-1). Dicho esto, se asume:

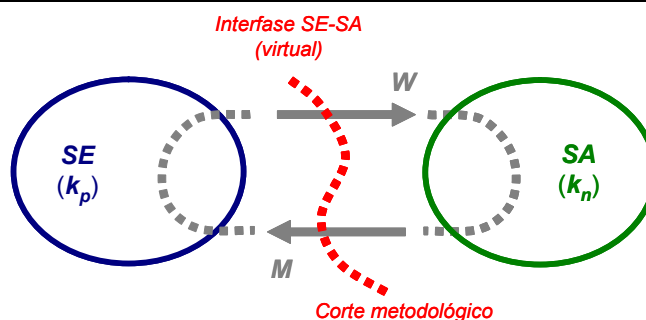


Figura 2.3-1. Sistema conjunto SE-SA: corte metodológico para el análisis del circuito de flujos físicos.

- P9. (Corte metodológico).** Un corte analítico (*interfase virtual*) entre un SE y sus SA para elaborar un balance general intersistémico que conecta mediante flujos físicos a los acervos físicos del sistema conjunto SE-SA.

<sup>67</sup> Importa también los flujos de materia y energía para conocer y poder garantizar mejor estabilidad estructural de los SA. Los ecosistemas no “saben” cómo procesar las señales de flujos en valores económicos (antropogénicas), pero sí sus señales equivalentes en valores físicos.

<sup>68</sup> Como de hecho se hizo al definir los SE, SA y SE-SA, D1, D2 y D3 en la sección 2.2.1.

La ‘interfase’ funciona como una “aduana” virtual que sólo observa y registra contablemente los flujos físicos por origen y destino, como manifestaciones objetivas de que se han alterado los acervos de capital en el SE y los acervos de capital natural en los SA. Por convención, los flujos que cruzan la interfase en una dirección son las extracciones de recursos naturales (inputs o in-flujos,  $M$ ) y, en la otra, las disposiciones finales de desechos (outputs o ex-flujos,  $W$ ).

Este postulado **P9** es “crítico” y virtuoso a la vez. Es ‘crítico’ porque el corte metodológico permite simplificar la interdependencia SE-SA a una descripción básica, y virtuoso porque reduce el análisis a lo sustancial: los flujos intersistémicos sin importar de qué manera ocurrieron las asignaciones generales de recursos disponibles dentro del SE y de los SA, si fueron o no resultado de asignaciones de algún tipo de “equilibrio”. Para un SE este análisis esquiva el tratamiento del problema sobre qué tipo de asignación general de recursos (equilibrio o no) genera un conjunto de flujos físicos dado.

El corte es de tipo ‘fenomenológico’, pues los sistemas operan como “cajas negras”, sin importar el detalle sobre los estados del sistema. Si fuese importante conocer las variaciones en los acervos (portafolio general de capitales), éstos pueden estimarse indirectamente a través de modelos, donde los cambios de estado internos al sistema tienen expresiones equivalentes en flujos físicos interdependientes (SE-SA), debido a la 1ª y 2ª leyes de la termodinámica. En consecuencia, de ninguna manera este corte metodológico es arbitrario, tiene además como sustento la afirmación (corolario) siguiente:

**P10.** Un sistema físico de sustentación SE-SA puede tratarse como un sistema cerrado del cual se puede derivar que: una *acumulación de materiales en un SE equivale a una desacumulación en los SA* asociados.

En consecuencia, es viable y útil construir balances de materiales a la interfase SE-SA en términos de: i) los flujos  $M$ , extraídos de los SA, desagregados en recursos bióticos o masa biológica extraída ( $M^b$ ) y recursos abióticos ( $M^a$ ), y ii) los flujos  $W$ , desechos para su disposición final a los SA. Vamos ahora a ilustrar los balances de materiales básicos, construidos tomando como referente particular a los SA, este análisis no altera las afirmaciones anteriores (P10, P9 y P8).

### **Balances de materiales del lado de los SA**

Sea  $B_t$  un acervo inicial de masa biológica con una gran diversidad de especies (vegetales y animales), medido en unidades físicas. En cada periodo  $t$ , la velocidad a la cual crece (crecimiento neto) depende del tamaño del acervo preexistente, crecimiento natural, pero también depende de la presencia temporal y permanente de contaminantes en los SA, los cuales bloquean la velocidad de regeneración natural, representada por una función  $f(B_t, W_t)$ .<sup>69</sup> Y si, además, denotamos por  $M^b$  la velocidad de extracción (recolección, cosecha, etc.), entonces el cambio en el acervo de la masa biológica entre el periodo  $t+1$  y  $t$  estará dado por:

$$\Delta B = B_{t+1} - B_t = f(B_t, W_t) - M_t^b. \quad (2.9)$$

Es directo observar que, cuando la extracción excede el crecimiento neto,  $M_t^b > f(B_t, W_t)$ , el acervo desciende,  $B_{t+1} - B_t < 0$ ; y viceversa.

<sup>69</sup> Usualmente sus propiedades se discuten en la economía de los recursos.

Por el lado de la extracción de recursos abióticos, sea  $R_t$  el acervo inicial y  $M_t^a$  la velocidad de extracción. Este acervo es una dotación dada para siempre (constante), por ende, no se “reproduce” (crece) para el periodo siguiente, su ecuación de balance respectiva es:

$$\Delta R = R_{t+1} - R_t = -M_t^a. \quad (2.10)$$

Los montos extraídos fluyen al SE, genera beneficios netos, pero en contraste con extracción de recursos bióticos, que se asume totalmente biodegradables por los SA, el consumo de los abióticos genera desechos por un monto,  $\alpha M_t^a$ , proporcional a la velocidad de extracción (con  $0 < \alpha < 1$ )<sup>70</sup>.

Estos desechos pueden acumularse como un acervo de contaminantes,  $W_t$ . Si la tasa de generación,  $\alpha M_t^a$ , excede la tasa a la cual es asimilada (descompuesta),  $\gamma W_t$ , entonces el acervo de contaminantes aumenta ( $W_{t+1} - W_t > 0$ ); y viceversa; el parámetro  $\gamma$  es un coeficiente de asimilación ( $1 > \gamma > 0$ ). Es directa la ecuación de balance que describe este proceso de acumulación de desechos en los SA:

$$\Delta W = W_{t+1} - W_t = \alpha \cdot M_t^a - \gamma \cdot W_t. \quad (2.11)$$

Este conjunto de tres ecuaciones constituye un núcleo de relaciones funcionales que representan los nexos entre flujos y acervos físicos del sistema conjunto SE-SA<sup>71</sup>.

Con esta ejemplificación queda más clara la conexión entre ciertos acervos naturales que se alteran permanentemente debido a decisiones hechas en el SE, sobre el nivel actividad económica, y como gran resultante están los flujos input ( $M^a$  y  $M^b$ ) y los flujos outputs ( $W$ ) del mismo SE. Obvio es que la actividad económica altera los acervos de capital producido. El capital natural vía las funciones de asimilación de desechos y de regeneración de masa biológica  $f(B_t, W_t)$ , es también dependiente del capital producido via  $W$ .

La conclusión es que las variables de flujo tienen correspondencias con las de acervo: del primer balance es directo pensar en una función del tipo  $M^b = g_1(k_n, k_p)$ , del segundo balance, una función del tipo  $M^a = g_2(k_n, k_p)$  y, por tanto, es también directo concluir que debe haber una función del tipo  $W = g_3(k_n, k_p)$ .

### ***Sobre la transformación analítica de un espacio-estados (teórico) a un espacio-flujos ('observable')***

En general, se ha sugerido la existencia de relaciones de correspondencia entre el potencial de realizaciones de estados o “portafolio” de capitales  $k = (k_p, k_n)$  y las clases de *funciones-flujo* inputs y output asociados al sistema físico de sustentación SE-SA. El vector  $k = (k_p, k_n)$  puede desagregarse tanto como sea necesario, pero en tal proceso de desagregación está también la necesidad de ampliar la gama de posibilidades de funciones-flujo mencionadas.

Un tipo de esta clase son las funciones-flujo (inputs y output) que se denomina ‘función

<sup>70</sup> Si  $M_t^a$  representa las extracciones de algún combustible fósil (petróleo, carbón,...),  $\alpha M_t^a$ , indicaría los montos de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, ...etc.

<sup>71</sup> Obvio que no están considerados los servicios ambientales proporcionados por la diversidad de sistemas naturales, los cuales dependen críticamente de la localización y de las tasas de extracción de recursos y disposición de desechos que presionan sobre la calidad de los SA y, por ende, presionan también al potencial de suministro de estos servicios.

potencial de realización',  $F = f_F(k_n, k_p)$ , o potencial de generación de presiones ambientales<sup>72</sup> también llamada *intervención humana sobre los SA*. Pero existen otro tipo de funciones (inputs y output) que relacionan estados del sistema SE-SA,  $B = f_B(k_n, k_p)$ , con variables determinantes del nivel de bienestar de una sociedad<sup>73</sup>.

Estas relaciones conectan (acoplan) componentes del bienestar que provienen directamente del desempeño económico, medidos por el nivel de ingreso (compete a flujos económicos del circuito circular del ingreso), con los componentes que tienen flujos físicos, tengan contraparte en flujos monetarios o no, como los flujos que provienen de la existencia misma de acervos de capital natural (servicios ambientales *in situ*).

Así, identificamos la clase de funciones  $B = f_B(k_n, k_p)$ , que representa un 'potencial' de generación de bienestar<sup>74</sup>, realizable mediante un cierto potencial de generación de presiones ambientales o intervención humana sobre los SA, dado por las funciones  $F = f_F(k_n, k_p)$ . Se puede representar por el sistema de ecuaciones siguiente:

$$\begin{aligned} F &= f_F(k_p, k_n) \\ B &= f_B(k_p, k_n) \end{aligned} \quad (2.12)$$

Este sistema de ecuaciones es equivalente a:

$$\begin{aligned} F &= f_F(k_p, k_g - k_p) \\ B &= f_B(k_g - k_n, k_n) \end{aligned} \quad (2.12')$$

En síntesis, se puede reducir al siguiente postulado:

**P11.** Para que un SE-SA realice un cierto potencial de generación de bienestar alcanzando un estándar o nivel de vida, medido por el vector  $B$ , inevitablemente tiene que ser comprometida una porción de los acervos de capital natural, medidos indirectamente por el vector  $F$ , o de potencial de generación de presiones ambientales o *intervención (carga) humana sobre los SA*.

Aunque de lectura opcional, la sección *interludio 3* es un argumento auxiliar que se considera contribuye a fortalecer lo expuesto. La teoría matemática del control es un poderoso recurso con el cual se puede trabajar con estructuras dinámicas que garantizan este vínculo: entre variables de estado y variables input y output de un sistema. Entonces el nexo SE-SA de la sección anterior, fundamentado en balances de materiales, es generalizable por esta vía, aunque no es objeto de esta investigación.

---

<sup>72</sup> Por 'presión' no debe entenderse la acepción que tiene el término en la física y la química: peso (fuerza) por unidad de superficie, por ejemplo, kg/m<sup>2</sup>. La analogía se refiere a los flujos físicos que generan choques o efectos sobre los SA, los perturban y los mantienen bajo 'estrés' (o "presión"); se mide en las unidades respectivas de los flujos asociados.

<sup>73</sup> Nótese que ha cambiado el uso de la letra ' $B$ ', antes era la masa biológica de poblaciones, ahora representa una ' $B$ ' de potencial de Bienestar.

<sup>74</sup> Interpretar a  $B$  como una variable 'proxy' a un indicador general del ingreso *per cápita* o ingreso total, puede ser algo más complejo como un *número-índice*, por ejemplo; esto último es aplicable también para  $F$ .

### **Interludio 3.<sup>75</sup> Un sistema dinámico en el marco de la teoría matemática del control**

En este marco teórico, un sistema dinámico transforma entradas en salidas mediante una matriz de transición cuando el estado inicial es dado. El sistema se constituye de un conjunto ordenado de tiempo y de estados, y dos conjuntos de funciones: inputs y output, una función de transición de estados y una función de transición de salida. El par  $(t, x)$  registra un *evento* del sistema y  $(x^*, u^*)$  es una *meta* si  $x^* = f(t; T, x, u^*)$ .

Las variables input consisten de un vector de variables de control  $u: (m,1)$  y un vector de variables exógenas  $z: (l,1)$ . Las variables output se agrupan en un vector  $y: (k,1)$  y un vector de normas  $y^*: (k,1)$  que orienta decisiones. Las variables de estado se representan mediante un vector  $x: (n,1)$ . Para el caso de un sistema abierto, las variables input se representa ahora por el vector  $'u: 'u_t = \begin{bmatrix} z_t \\ y_t^* \end{bmatrix}: (l+k,1)$ ; las variables de estado por el vector  $'x: 'x_t = \begin{bmatrix} x_t \\ u_t \end{bmatrix}: (m+k,1)$ ; y las variables output por el vector  $'y: 'y_t = y_t: (k,1)$ . Así, un sistema puede definirse como:

1. Un conjunto ordenado llamado *tiempo*:  $T \subseteq R$ .
2. Un conjunto de *estados*:  $X \subseteq R^{n+m}$ .
3. Dos conjuntos de:
  - i) funciones *input*:  $\Phi = \{u: T \rightarrow U; U \subseteq R^{l+k}\}$ ;  $y$
  - ii) funciones *output*:  $\Psi = \{y: T \rightarrow Y; Y \subseteq R^k\}$
4. os conjuntos de funciones respuesta:
  - i) Una función de *transición de estados*: con regla o aplicación:  $\varphi: T \times T \times X \times \Phi \rightarrow X$  e imagen dada por  $x_t = \varphi(t; t_0, x, u)$ . Representa que el sistema alcanza el estado  $x_t$  al tiempo  $t$ , a partir de un estado inicial  $x_{t_0}$ , debido a la acción del input  $u \in \Phi$ .
  - ii) Una función de *transición output*: con regla o aplicación:  $\psi: T \times X \rightarrow Y$  e imagen dada por  $y_t = \psi(t, x)$ . Expresa que el sistema libera un output  $y_t$  al tiempo  $t$ , mediante el estado inicial  $x_t$ .

Con ello podemos definir un *evento del sistema* como:  $(t, x) \in T \times X$ ; y se dice que  $(x^*, u^*) \in X \times U$  es una *meta* si:  $x_t^* = \varphi(t; t_0, x, u^*)$ .

\* \* \* ... Fin de interludio ... \* \* \*

---

<sup>75</sup> La nomenclatura de esta *sección Interludio 3* es independiente del texto general, recuperado de M. Puchet (1994).

Las componentes que pueden contener estas funciones potencial son  $F=\{M^a, M^b, W\}$  y para  $B=\{Y, S_B\}$ , pero reducimos al caso de una variable a la vez (dos variables), las acotamos a funciones escalares  $F$  y  $B$ . Con ello volvemos manejable en un plano el asunto de la transformación de puntos de un espacio-estados a un espacio-flujos. Además, se ha ofrecido una posibilidad de “métrica” en la sección 2.2.4.

Una característica intrínseca a la especificación dinámica para la interdependencia SE-SA había sido la finitud del sistema, la cual tiene su expresión equivalente en un espacio-flujos (‘observable’) y se resume en la siguiente afirmación:

**P12.** Sí es posible establecer relaciones de transformación entre puntos de un espacio-estado  $(k_p, k_n)$  y puntos equivalentes en un espacio-flujos  $(F, B)$ , entonces las *condiciones de finitud* de un sistema conjunto SE-SA se pueden expresar mediante las equivalencias siguientes:

- i) Al punto  $(k_n, k_p) = (0,0)$  le corresponde una transformación equivalente en  $(F, B) = (0,0)$  ---(*condición de finitud absoluta*).
- ii) Al punto  $(k_n, k_p) = (k_n^{\max}, 0)$  le corresponde una transformación equivalente en  $(F, B) = (0, B^{\max})$  ---(*condición de finitud parcial*).

El postulado **P12** es determinante de la forma de la curva, es una cerrada (al eje horizontal) similar a la U-invertida; seguramente “deformada” por irregularidades debido a los múltiples factores de dinámica y de escala que median en el proceso de transformación. Este argumento se puede expresar así:

**P13.** Una *condición determinante* para que la transformación al espacio-flujos (‘observable’) mantenga la *regularidad estructural* en forma de curva U-invertida es que **P12** se cumpla.

No se dispone de conocimiento suficiente sobre la naturaleza de la no linealidad de los procesos SE-SA<sup>76</sup> y no podemos por lo tanto conocer con certeza cómo es el proceso de transformación (ecuaciones 2.12) que “mapea” la envolvente U-invertida del espacio-estado al espacio-flujos.

Por esta razón, el proceso que se ilustra en la figura 2.3-2 es una forma de mostrar el caso más simple, con relaciones funcionales lineales y “bien comportadas”; implícitamente, se asume que las (ecuaciones 2.12) son *transformaciones proporcionales* que representan mapeos (uno a uno) de puntos del espacio-estado  $(k_p, k_n)$  a puntos del espacio observable  $(F, B)$ .

---

<sup>76</sup> Las estructuras dinámicas son no lineales y múltiples los factores de escala imbricados en ellas. Sólo para seguir ilustrando, en términos de factores de escala temporal, la duración de los procesos ambientales son de muy largo plazo, son procesos ecológicos. Sin embargo, en una escala de tiempo, la duración de muchos procesos ambientales pueden disminuir significativamente si los choques externos (intervención humana) aumentan su velocidad, por ejemplo: aceleración de procesos de degradación ambiental de ecosistemas de baja resiliencia o cerca de sus umbrales.

Cabe recordar que la dinámica en el espacio-estado es una del tipo de “historia completa” de un sistema, y la curva U-invertida en el espacio  $(F, B)$  correspondiente debería ser una de muy largo plazo también, por eso se afirma que es una regularidad estructural. De ninguna manera la representación de la figura 2.3-2 corresponde a un caso general, pero el razonamiento se considera válido.

En consecuencia, la transformación al espacio observable debe ser interpretada con sumo cuidado para los fines de la aplicación que se propone en esta investigación: derivar de esta regularidad estructural y de muy largo plazo la posibilidad de analizar expresiones tendenciales del desempeño ambiental de un SE, por tramos o segmentos de la curva U-invertida, y que sólo pueden ser dos las posibilidades: materialización o desmaterialización de un SE.

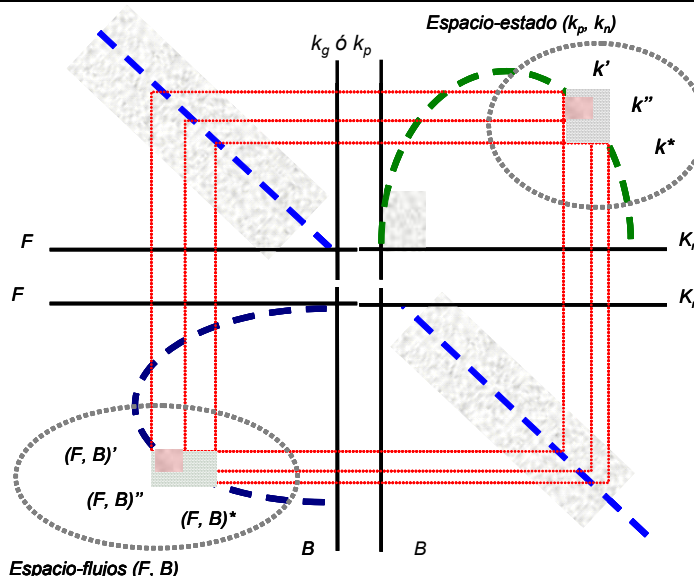


Figura 2.3-2

Con la argumentación expuesta, las definiciones D5a y D5b del espacio-estados tienen sus equivalentes en el espacio-flujos de la siguiente manera:

**P14.** Si **P13** es cierto entonces el dominio en el espacio-estado  ${}^n D_k \subset {}^v D_k$  tiene un dominio equivalente o transformado en el espacio-flujos dado por:  ${}^n D_{FB} \subset {}^v D_{FB}$ .

Igualmente, en el espacio-flujos debería ser posible encontrar dominios equivalentes a los  ${}^v D_k$  y  ${}^n D_k$ , denotados por  ${}^v D_{FB}$  y  ${}^n D_{FB}$ , con similares definiciones y connotaciones: dominio de operación viable, económica y sustentablemente, y el dominio viable, pero operable bajo un control por norma del sistema conjunto SE-SA.

Sostengo que el razonamiento (procedimiento) es válido, pero reconozco que es fundamental la construcción de estructuras dinámicas desagregadas que acoplen el SE y sus SA<sup>77</sup>. Para las implicaciones de política ambiental sustentable, sin embargo, no es posible traducir confiablemente el proceso de formación de la norma del espacio-estado al espacio-flujos ('observable')<sup>78</sup>. Sin duda que esta propuesta es una posibilidad, con sus limitantes y alcances, pero de gran utilidad.

<sup>77</sup> Esto representa un enorme trabajo que rebasa las capacidades individuales. Como se ha sugerido al inicio de la sección, una fuente para explorar mayores posibilidades serían los recursos que brinda la teoría matemática del control. Este es el camino hacia el diseño de *modelos de gestión ambiental adaptativos*.

<sup>78</sup> Una transformación confiable y objetivo de control dentro de un modelo de gestión adaptativo debería conducirnos a  ${}^n D_{FB}$ , como el *conjunto potencial de normas ambientales específicas*.

Entre el plano de la teoría y el plano de las realizaciones o estados observables del sistema conjunto media una fuerte componente de incertidumbre sobre el escaso conocimiento y baja capacidad institucional para cuantificar. No obstante es posible, mediante este “puente” metodológico, re-construir por tramos la “historia completa” de las ‘huellas’ físicas que deja la evolución de un sistema conjunto SE-SA. Por el alto nivel de incertidumbre, obligaría más bien a pensar que la regularidad estructural es en realidad una *banda U-invertida*, dentro de la cual están localizadas las fluctuaciones de la tendencia principal del conjunto de realizaciones observables del sistema o datos ( $B, F$ ) ---ver figura 2.3-3, más adelante se refuerza esta posición.

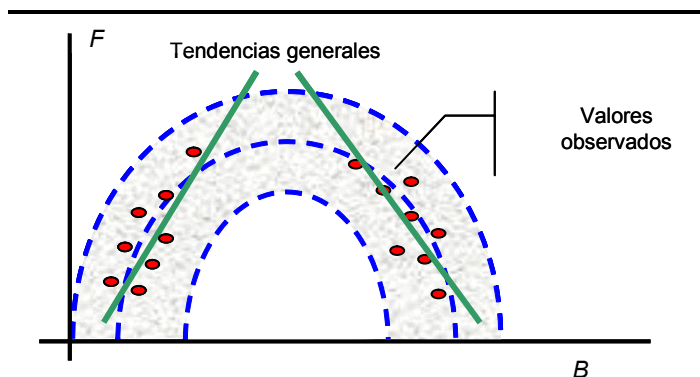


Figura 2.3-3.

En consecuencia, la interpretación inicial que se propone para la “nueva” curva U-invertida en el espacio de las realizaciones observables ( $B, F$ ), se construye a partir una pareja de valores: uno representa indirectamente un “estado” del sistema, dado por las coordenadas ( $F, B$ ), y el otro es la pendiente de la curva U-invertida. Valores negativos de la pendiente sobre la línea de tendencia general implican realización de desempeños sistémicos más sustentables. Por el contrario, aumentos de las presiones ambientales por unidad de aumento en el bienestar material<sup>79</sup>, pendiente positiva, debe considerarse menos sustentable. Esta interpretación es crucial para el trabajo, porque es justamente la derivación del indicador-monitor de des/materialización de un SE. Por su importancia se trata de manera separada en la sección siguiente.

### 2.3.3 Proceso de acoplamiento<sup>80</sup> SE-SA como proceso de des/materialización y su medición

Hemos alcanzado como resultado que la regularidad estructural (u-invertida) se mantiene en la representación del espacio-flujos ( $B, F$ ). Los componentes identificados para funciones potencial  $F$  son  $\{M_a, M_b, W\}$  y para  $B$  son  $\{Y, S_B\}$ , pero reducimos al caso de una variable a la vez (dos variables). Por eso podemos pasar a un espacio-flujos particular, dado por los pares ( $Y, M$ ), por ejemplo; implícito está la aproximación lineal, que se aclara su uso en el “procedimiento para medir” (más adelante). Si la aproximación fuese no lineal, se conjetura que la curva U-invertida sólo se “deforma”, pero seguirá siendo una curva cerrada al eje horizontal debido a las condiciones de finitud (P12 y P13). Se trabaja sobre un caso particular, pero es aplicable al conjunto de componentes tanto del vector  $B$  como del vector  $F$ .

¿Cómo procesar la información empírica obtenida y medir procesos de cambio en el tiempo? Para responder esta pregunta vamos primero a reflexionar sobre la naturaleza de las observaciones y su cuantificación (datos), y pasar después a una propuesta de medición de

<sup>79</sup> Medido por una “proxy” como el ingreso per cápita, aunque pueden elaborarse otros indicadores más “sintonizados” con el concepto.

<sup>80</sup> El concepto de *acoplamiento* ha cobrado una gran importancia en el diseño de estrategias de políticas de desarrollo sustentable en la Unión Europea desde la década de los noventa.



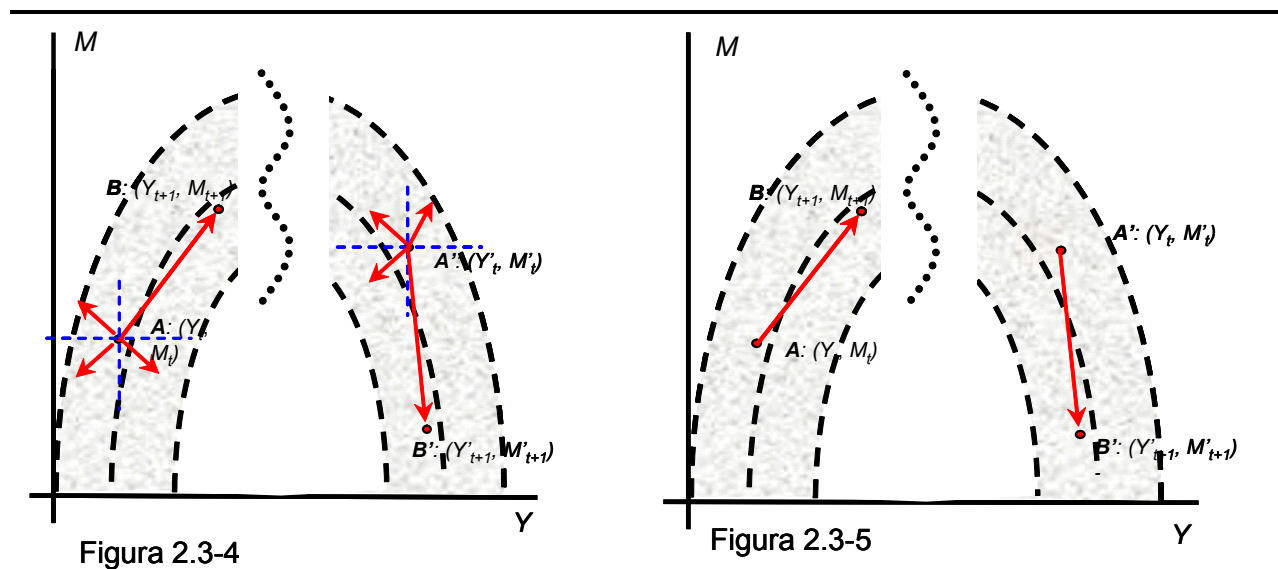
cambios en el desempeño ambiental de un sistema SE; que es lo que realmente se busca cuantificar, como proceso de ‘acoplamiento’.

No se puede observar y cuantificar la “historia” de un SE-SA ni la regularidad estructural (U-invertida) completa en el espacio  $(Y,M)$ . Por esta razón el análisis se reduce a tramos o segmentos observables en periodos de tiempo largos, pero al alcance de la escala temporal de los procesos económico-sociales (antropogénicos) ---ver figura 2.3-3 en sección anterior.

En consecuencia, en el espacio observable  $(Y,M)$  este par de variables mensurables expresa indirectamente una condición del estado del SE, reflejo de su especificidad estructural. Del aglomerado de puntos observables que conforman la tendencia general en cada brazo de la U-invertida (figura 2.3-3), se aislan un par de puntos para realizar el análisis.

Cuando el SE transita hacia un nuevo estado, del punto  $A(Y_t, M_t)$  al punto  $B(Y_{t+1}, M_{t+1})$ , se puede medir la dirección del cambio y extraer datos sobre aspectos de su situación estructural en el tiempo; ya sea que esté en el brazo izquierdo (puntos A y B) o en el brazo derecho (puntos A' y B') de la curva U-invertida en la figura 2.3-4.

Sin embargo, un punto en el espacio-flujos  $(Y_t, M_t)$  observable, durante el siguiente periodo puede evolucionar hacia otro  $(Y_{t+1}, M_{t+1})$  en alguna de las cuatro direcciones mostradas por los cuadrantes alrededor de cada punto del sistema (o dato). Se conjetura que la dirección de cambio depende de una componente estructural y una por fluctuaciones económicas de corto plazo; además, se supone que son más probables de ocurrir eventos de cambio que responden a determinantes estructurales y, por lo tanto, se pueden observar como una tendencia de largo plazo, medida por la pendiente del tramo de la curva U-invertida observable  $(\Delta M/\Delta Y)$  ---ver figura 2.3-5.



Por ejemplo, sobre el brazo izquierdo, por la tendencia general serían más probables de ocurrir eventos de cambio como el mostrado por la flecha A-B o incluso el correspondiente al cuadrante opuesto; y mucho menos probables las dos direcciones restantes, los cuales podrían originarlos perturbaciones de corto plazo. Por el mismo argumento, sobre el brazo derecho, por la tendencia general serían más probables eventos como el mostrado por la flecha A'-B' y el

correspondiente al cuadrante opuesto.

### **Acoplamiento SE-SA como proceso de des/materialización**

Se ha ilustrado el nexo SE-SA mediante tres relaciones (balances) que muestran la parte de mayor control humano de un “ciclo” o circuito de flujos y acervos físicos. Se comienza con la actividad económica, que induce ciertos flujos físicos input al SE, en donde son transformados por procesos de producción y consumo, los cuales generan flujos físicos output cuyo destino final será siempre los SA. El acoplamiento representa la interconectividad sistémica entre la actividad general del SE ( $Y$ ) y las presiones o ‘agentes’ perturbadores de los SA ( $M$  y  $W$ ), medido por los *flujos físicos netos* que se generan desde el SE, a saber:  $M(Y)$  y  $W(Y)$ . Es necesario aclarar que, no se involucra en este análisis la etapa correspondiente a la evaluación de las *consecuencias ambientales*, directas e indirectas, que originan las extracciones ( $M$ ) y las disposiciones finales ( $W$ ).

Este es un problema estructural, con procesos cuya duración es de largo plazo. Conforme un SE evoluciona, espacial y temporalmente, comienza a ser determinante la escasez de cierto tipo de materiales, no todos a la vez, y termina afectando o restringiendo los procesos económicos de producción y consumo. Sin embargo, en este horizonte de tiempo el propio cambio tecnológico progresivo en el ahorro de recursos es también decisivo en la determinación del ciclo de vida de los materiales. Por lo tanto, la escasez no sólo sería material, sino por “obsolescencia” tecnológica también, muchos de ellos entran en des-uso<sup>81</sup>.

Lo que se quiere destacar es que en el largo plazo siempre entran en operación, y se vuelven determinantes, mecanismos que expresan variantes estructurales de las condiciones de finitud del sistema SE-SA. En consecuencia, finitud y ciclo de vida de clases específicas de materiales, confirman la conjetura: la regularidad en forma de U-invertida para el desempeño ambiental de un SE, observable y cuantificable por segmentos o tramos.

Para una clase particular de materiales  $M(t)$ , inducidos por ciertos niveles de actividad económica en el tiempo,  $Y(t)$ , tal regularidad estructural podría representarse también en el espacio-flujos ( $Y, M$ ) por una relación funcional del tipo:

$$G[Y(t), M(t)] = h(t) \quad (2.13)$$

Donde  $h(t)$  es un parámetro de naturaleza estructural; ver al final de esta sección el *Interludio 4*, donde se argumenta adicionalmente sobre esta relación.

Sin embargo, sin pérdida de validez del razonamiento, vamos a trabajar con una relación básica, una aproximación lineal tal como:  $M(t) \approx m \cdot Y(t) + \alpha$ ; por ejemplo, podría haber una similar para  $W$  dada por:  $W(t) \approx w \cdot Y(t) + \beta$ , como ya fue argumentado. Los coeficientes  $m$ ,  $w$ ,  $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros estructurales (constantes) de ‘posicionamiento’ de la estructura productiva del SE; en particular, con  $\alpha$  y  $\beta$  determinadas por condiciones iniciales (ver más adelante).

A partir de las ‘realizaciones’ del potencial del SE expresadas mediante los flujos ( $Y_t, M_t$ ) como datos, se obtiene un parámetro estructural  $m$ , también un dato y constantes todos. Si a partir de estas condiciones iniciales observamos (“desde fuera”) la evolución del SE y mediante una aproximación lineal se mide el proceso de cambio,  $\Delta M$ , un periodo de tiempo después

---

<sup>81</sup> Por problemas del adelgazamiento de la capa de ozono, seguramente, las nuevas tecnologías harán inútil la producción de CFC; por múltiples razones, sobre todo descubrimientos de nuevos materiales, muchos materiales habrán de terminar con un ciclo de vida.

cuando el sistema alcanza los resultados  $(Y_{t+1}, M_{t+1})$ , esto es:

$$\Delta M = M_{t+1} - M_t = m_t \cdot (Y_{t+1} - Y_t); \text{ ó } M_{t+1} = m_t \cdot Y_{t+1} + [(M_t - m_t \cdot Y_t)] \quad (2.14)$$

La expresión conecta dos puntos (datos) medidos en periodos de tiempo distintos y la pendiente de la recta que los une es una medida aproximada de una tendencia estructural del desempeño ambiental del SE (ver figura 2.3-5). Por separado se pueden medir los dos tipos de tendencias aproximadas aquí mediante los vectores A-B y A'-B'.

Esto es precisamente lo que vamos a cuantificar en esta investigación, el proceso de acoplamiento SE-SA, medido por el lado del desempeño ambiental de un SE como un proceso de des/materialización. Para cuantificarlo se emplea una aproximación lineal o dependencia proporcional directa del nivel de actividad económica total del SE ( $Y_t$ ).

En consecuencia, para cualquier tiempo  $t$ , y de manera muy agregada, vamos a asociar un indicador-variable  $M_t$  con el producto o ingreso total ( $Y_t$ ) mediante un coeficiente de intensidad de *uso* o de *intervención* ambiental por unidad de producto ( $m_t = M_t/Y_t$ ). La recta de tendencia, para cualquier periodo  $t$ , partiendo del punto  $(Y_0, M_0)$  y pendiente  $m_0$  ---condiciones iniciales--- está dada por:  $M_t = m_0 \cdot Y_t + [(M_0 - m_0 \cdot Y_0)] = m_0 \cdot Y_t + \alpha_0$ . El coeficiente  $\alpha_0$  es un parámetro estructural determinado completamente por las condiciones iniciales del SE ( $= [(M_0 - m_0 \cdot Y_0)]$ ).

Para el siguiente periodo  $(t+1)$  de cálculo de la  $M_{t+1}$ , el coeficiente 'm' es estimado con base en los valores del nuevo punto, por lo tanto  $m_0 \neq m_t \dots \neq m_{t+1}$ , y así sucesivamente se culmina con la aproximación por tamos. Por eso, en un cúmulo de observaciones este parámetro cambia de periodo a periodo. Así, la aproximación lineal por el lado de los inputs al SE puede expresarse como:  $M(t) = m(t) \cdot Y(t) + \alpha_0$ . La forma de velocidad de cambio de esta función es, en diferencias finitas:

$$\Delta M_t / \Delta t = (\Delta m_t / \Delta t) \cdot Y_t + m_t \cdot (\Delta Y_t / \Delta t) \quad (2.15)$$

Es directa la consideración de que una sociedad 'desmaterializa' siempre que  $\Delta M_t / \Delta t < 0$ , y se verifica entonces:

$$(\Delta m_t / \Delta t) \cdot Y_t + m_t \cdot (\Delta Y_t / \Delta t) < 0 \quad \text{ó} \quad -(1/m_t) (\Delta m_t / \Delta t) > (1/Y_t) (\Delta Y_t / \Delta t) \quad (2.16)$$

Un SE que cumple con la condición anterior, se *desmaterializa* de manera *fuerte* cuando su velocidad de cambio en la intensidad de uso o intervención ambiental, en valor absoluto, es mayor que el crecimiento del producto (crecimiento económico). Cuando simplemente el consumo material es menor en el tiempo  $(\Delta m_t / \Delta t) < 0$ , es una condición suficiente para una vía débil de desmaterialización. En el caso opuesto, conforme aumenta el bienestar una sociedad se 'materializa' si se verifica:  $\Delta M_t / \Delta t > 0$ .

Se ha construido entonces una forma cuantificar el proceso de acoplamiento SE-SA. Existirá desacoplamiento de un SE cuando éste se desmaterializa (destoxifica<sup>82</sup> o descontamina) y, en un sentido más general, significa realización de actividades económicas que originan menores impactos o consecuencias ambientales.

---

<sup>82</sup> Importante señalar que es muy probable que exista destoxificación del sistema en tanto que toda desmaterialización lleva incorporado los materiales de riesgo por su alta toxicidad. Significa eliminar proporcionalmente más sustancias tóxicas del sistema en el tiempo.

Este marco es valioso porque, con mayor desagregación, admite un tratamiento del proceso de acoplamiento como proceso estructural resultante de: 1) cambios en los procesos de producción y diseño de producto y 2) cambios en la composición de la producción y el consumo. Cuando se afirma que son procesos de cambio estructural, se quiere enfatizar que no responden a fluctuaciones económicas de corto plazo, sino más bien son resultados del cambio tecnológico e institucional que influye en la reducción de M y W, aumento en la productividad del recurso, y cambios en los patrones de consumo o estilos de vida.

**Procedimiento para medir cambios en el desempeño ambiental de un sistema SE**

Vamos a trabajar sobre la ecuación de velocidad de cambio en diferencias finitas:  $\Delta M_t / \Delta t = (\Delta m_t / \Delta t) \cdot Y_t + m_t \cdot (\Delta Y_t / \Delta t)$ . Para una misma diferencia entre periodos ( $\Delta t > 0$ ), la expresión anterior se reduce al proceso de cambio que realmente se va a medir, que es la tendencia general dada por:

$$(\Delta m) \cdot Y + m \cdot \Delta Y = \Delta M \quad (2.17)$$

El procedimiento de cuantificación de  $\Delta M$  consiste de cuatro pasos, se: i) ubica el punto de referencia (pivote,  $P_0, P'_0, P''_0$ ), base para la medición, ii) se mide la variación  $m \cdot \Delta Y$ , iii) se mide la variación  $(\Delta m) \cdot Y$ , iv) se suman los dos componentes anteriores, y se representa el tramo de recta o aproximación lineal resultante. Para construirlo se comienza por una representación gráfica como la figura 2.3-6a.

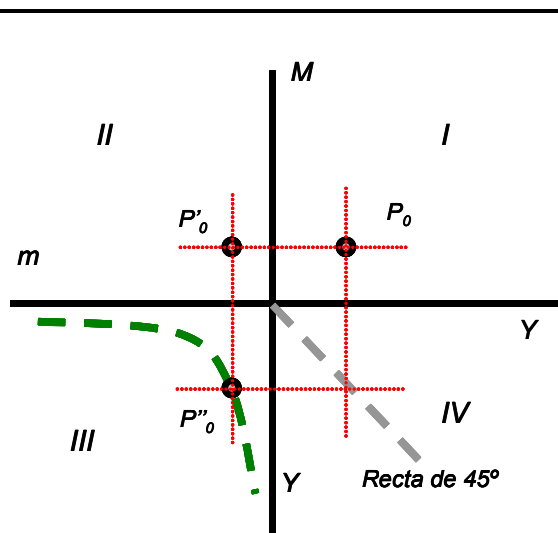


Figura 2.3-6a.

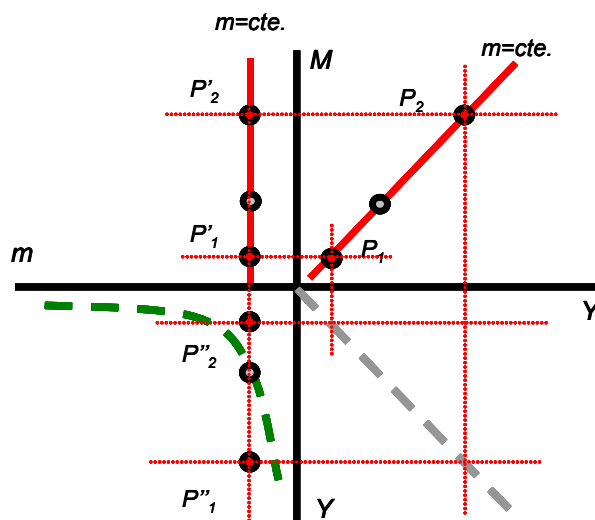


Figura 2.3-6b.

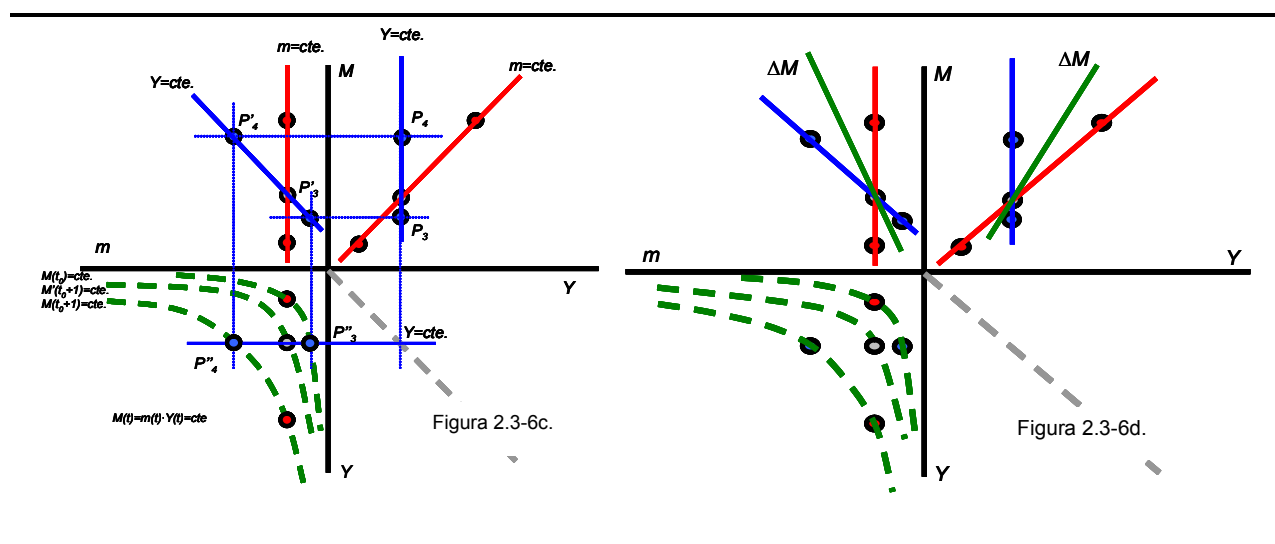
En cada cuadrante (ortantes positivos todos) se representan puntos de espacios diferentes los cuales son:  $(Y, M), (M, m), (m, Y)$  y  $(Y, Y)$ . En los dos primeros cuadrantes se representan los datos en el tiempo; el tercero se representa la aproximación lineal tipo  $M(t) = m(t) \cdot Y(t)$ , con  $M(t)$  igual a constante para diferentes periodos de tiempo; y el último, sólo representa a la recta auxiliar  $Y=Y$ .

**Paso 1.** El dato  $(Y, M)$  se representa en el cuadrante I (punto  $P_0$ ). Se estima 'm' ( $=Y/M$ ) y se representa el punto  $P'_0 (M, m)$  y el punto  $P''_0 (m, Y)$ ; ver figura 2.3-6a.

Se consideran dos tipos de cambio, menor ( $P_1$ ) y mayor ( $P_2$ ) que los valores de los puntos de referencia ( $P_0, P'_0, P''_0$ ).

**Paso 2.** Se mantiene constante m y se hace variar Y en el tiempo, equivalente a medir la variación  $m \cdot \Delta Y$ . Los cambios menor y mayor al Y de referencia generan dos puntos o datos en cuadrantes: II ( $P'_1, P'_2$ ) y I ( $P_1, P_2$ ); resultan de la aproximación lineal del proceso de cambio representado en el cuadrante III ( $P''_1, P''_2$ ), respectivamente; corresponden a las rectas  $P'_1-P'_2$  y  $P_1-P_2$  ---ver figura 2.3-6b.

**Paso 3.** Ahora se mantiene constante Y y se hace variar m, equivalente a medir la variación  $(\Delta m) \cdot Y$  (Figura 2.3-6c). De manera análoga, se generan dos puntos o datos en cuadrantes: II ( $P'_3, P'_4$ ) y I ( $P_3, P_4$ ); con la aproximación lineal ( $M=mY$ ; puntos  $P''_3$  y  $P''_4$ ), respectivamente; corresponden a las rectas  $P'_3-P'_4$  y  $P_3-P_4$ .



**Paso 4.** Por último, se suman los dos cuantificadores anteriores, como suma de dos vectores:  $(\Delta m) \cdot Y$  y  $m \cdot \Delta Y$ , cuyo vector resultante es:  $\Delta M$ ; representado por la recta (vector) que está entre ellos ("tijera") ---ver figura 2.3-6d.

El procedimiento se repite para  $n$ -datos en el tiempo, de tal manera que en el largo plazo, se puede "re-construir" por tramos la tendencia realmente cuantificable; en este caso fue un proceso de desmaterialización (ver recta-vector  $\Delta M$  en cuadrante I). El procedimiento es replicable para la "re-construcción" de la tendencia estructural contraria (materialización).

Note que hemos realizado el análisis solo de un lado del SE-SA: el desempeño ambiental del SE. Las consecuencias ambientales y, en general, los cambios en el estado de

los SA son resultantes de fluctuaciones dinámicas y procesos de escala (o transiciones) del sistema interdependiente SE-SA, no son tratadas en la investigación. Son estructuras muy complejas y, por ende, de difícil cuantificación. Sobre todo cuando no se dispone de una base empírica (contable) de aspectos relativos a, por ejemplo: i) nivel de acervos de capital natural específicamente localizado (*in situ*) y su distribución espacial heterogénea; ii) condiciones iniciales o estados anteriores de los SA, en los términos descriptivos del punto (i); y iii) cuantificación de capacidades intrínsecas de asimilación de presiones ambientales.

### Un indicador-monitor de des/materialización

La ecuación de velocidad de cambio  $\Delta M_t/\Delta t = (\Delta m_t/\Delta t) \cdot Y_t + m_t \cdot (\Delta Y_t/\Delta t)$ , puede presentarse en la siguiente forma:

$$\frac{\Delta M}{\Delta Y} = \frac{\Delta m}{\Delta Y} \cdot Y + m \quad (2.18)$$

Con  $Y$  y  $m$  valores siempre positivos, el sentido (signo) de las variaciones  $\Delta M/\Delta Y$  determinado directamente por el sentido (signo) de  $\Delta m/\Delta Y$ . Si el cambio total es despreciable ( $\Delta M=0$ ), podemos encontrar una relación que divide el espacio  $(Y, m)$  en dos regímenes, dada por:

$$\left(\frac{Y}{m}\right)_t \left(\frac{\Delta m}{\Delta Y}\right) = -1 \quad (2.19)$$

La ecuación define una *frontera (locus) de transición* de un SE entre un régimen que opera ‘materializando’, aumento de la intensidad de uso de flujos físicos (no-favorable a la sustentabilidad) y, el opuesto, que opera bajo un régimen de ‘desmaterialización’ (favorable a la sustentabilidad); en la figura 2.3-7 se representa dicha partición. El radio-vector divide el espacio  $(Y, m)$ , arriba se localizan las tendencias a la materialización y hacia abajo las tendencias a la desmaterialización.

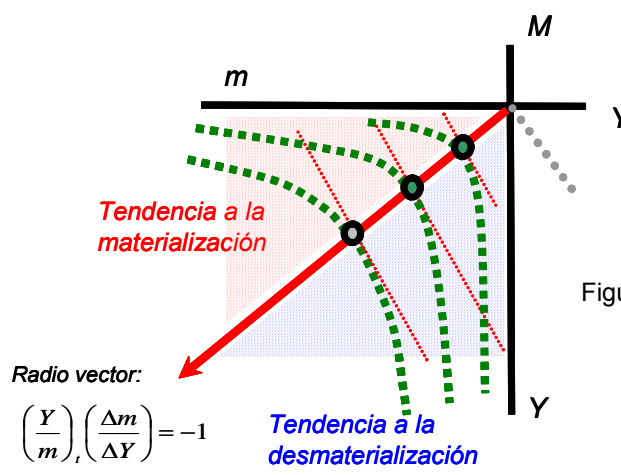


Figura 2.3-7.

En consecuencia,  $(\Delta m/\Delta Y)$  es un indicador confiable de la dirección de cambio de estado del SE y puede tomar valores positivos o negativos (incluso cero). Dado que  $(Y/m)_t$  es siempre positivo para cualquier  $t$ ; significa que la pendiente  $(\Delta m/\Delta Y)$  determina de qué lado de la *frontera de transición* se encuentra un SE y, por tanto, su desempeño ambiental, estructuralmente. Para la condición  $(Y/m)_t(\Delta m/\Delta Y) \neq -1$ , existen dos posibilidades de ubicar un SE, por fuera del locus-frontera. Cuando el sistema opera bajo un régimen que *desmaterializa*, esto es  $\Delta M < 0$ , “equivale” a una condición favorable a la sustentabilidad en el sentido fuerte y cumple con la condición:

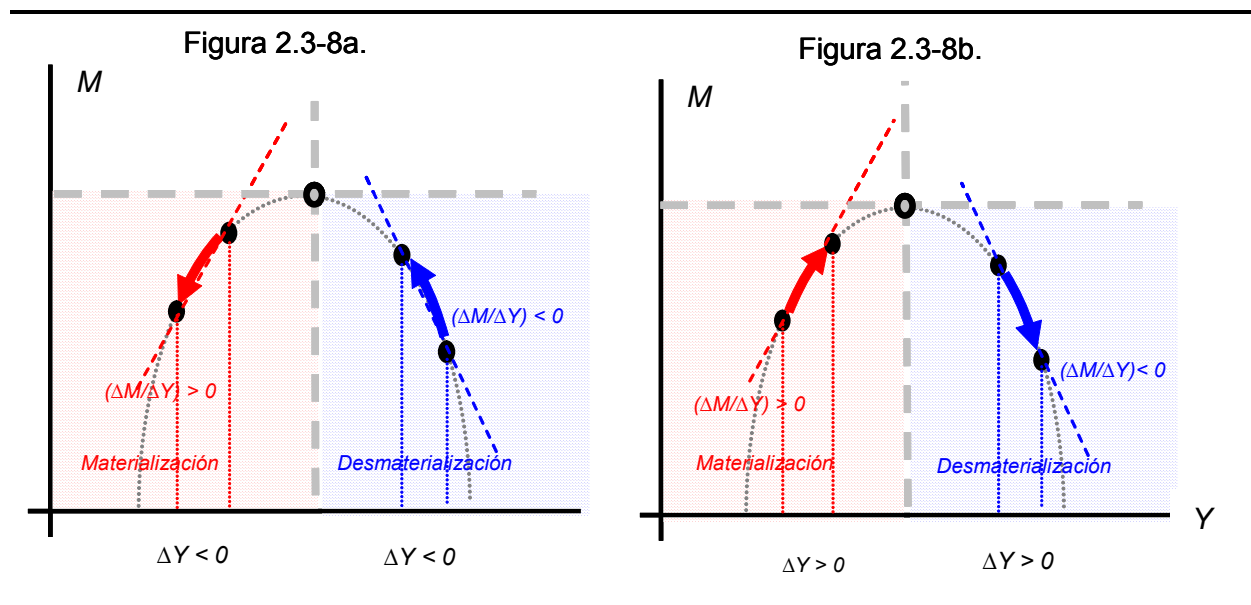
$$(Y/m)_t (\Delta m/\Delta Y) < -1 \quad (2.20)$$

En sentido opuesto, opera bajo un régimen de *materialización* ( $\Delta M > 0$ ); el desempeño ambiental de un SE es desde menos sustentable hasta abiertamente insustentable y satisface la condición:  $(Y/m)_t (\Delta m / \Delta Y) > -1$ .

Además, este indicador tiene la virtud de ser justo una medida del proceso de des/acoplamiento entre el SE y los SA. Es el indicador-monitor buscado.

Un SE posicionado en un estado observable a  $(Y, m)$  puede moverse hacia otro estado en cualquier dirección, aunque es alta la probabilidad asociada a los desplazamientos determinados por causas estructurales e institucionales, pues gobiernan la tendencia general del sistema. Ningún desplazamiento es improbable en tanto que perturbaciones (fluctuaciones) de coyuntura podrían dominar una dirección de cambio en el corto plazo, diferente de la tendencia general; esto es, no determinada estructuralmente.

Definido el *locus-frontera de transición* mediante la relación  $(Y/m)_t (\Delta m / \Delta Y) = -1$ , y realizada la transformación al espacio  $(Y, M)$ , es entonces posible identificar cuatro posibilidades de dirección de cambio para tales procesos estructurales ('observables'), como se muestra en las figuras 2.3-8a y 2.3-8b.



Esto es, el procedimiento nos permite “mapear” del espacio  $(Y, m)$  al espacio  $(Y, M)$ . Pero además, se puede reconstruir una u otra tendencia estructural mediante tramos o segmentos de rectas, de tal manera que, cuando ocurre un cambio de pendiente, cambia la tendencia. Implícitamente esta evolución en el tiempo supone la existencia de un punto de quiebre (*turning point*,  $P_q$ ) virtual, pero no implica que, necesariamente, todo SE tenga que pasar por él, como un proceso de desarrollo gradual y secuencial del sistema. En realidad siempre habrá la posibilidad para observar “saltos” cualitativos de una tendencia a la otra y que se conjetura responden a cambios tecnológicos e institucionales profundos en el SE.

## **Interludio 4. Sobre una descripción estructural del desempeño ambiental de un SE**

Todo lo argumentado hasta ahora se sintetiza en postular entonces, que existen elementos para construir un marco analítico, parcial pero robusto, dentro del cual es posible (conjetura) fundamentar una descripción estructural del desempeño ambiental de un SE, mediante un sistema de ecuaciones de la forma siguiente:

$$\mathbf{G}[(Y(t), \mathbf{M}(t))] = \mathbf{h}(t); \text{ para cualquier periodo de tiempo 't'.} \quad (2.21)$$

La funcional  $\mathbf{G}(\cdot)$  es una representación general del conjunto de 'realizaciones' de un potencial o capacidades estructurales de un SE, significan corrientes de flujos en el tiempo, y se representan mediante el par  $[Y(t), \mathbf{M}(t)]$ . Una componente es la corriente de flujos de ingresos y otra componente es la corriente de flujos físicos input, vector ambiental  $\mathbf{M}(t)$ <sup>83</sup>; son combinaciones posibles de 'realizaciones' del sistema SE que satisfacen un cierto nivel dado por la condición  $\mathbf{G}(\cdot) = \mathbf{h}(t)$ , con ' $\mathbf{h}(t)$ ' como parámetro de naturaleza estructural. Así podemos definir entonces:

$$G_i =: \{(Y(t), \mathbf{M}(t)) : \text{si } G_i((Y(t), \mathbf{M}(t))) = h_i(t), h_i \in R\} \quad (2.22)$$

El razonamiento es el siguiente, sostengo que un SE es observable porque se registran las 'realizaciones' de su potencial (capacidades), medidas por  $(Y$  y  $M)$ . Después de un choque externo permanente por la vía de  $Y(t)$ , esto es por funcionamiento de la "máquina" económica, el sistema evoluciona en el tiempo respondiendo a sus propias fuerzas (endógenas) determinadas por la especificación estructural:  $G_1(Y(t), \mathbf{M}(t)) = h_1(t)$ ; ...  $G_i(Y(t), \mathbf{M}(t)) = h_i(t)$ ; ...  $G_n(Y(t), \mathbf{M}(t)) = h_n(t)$ . Evidentemente el SE se ha desagregado en n-subsistemas o partes fundamentales que replican la dinámica 'observable' de su desempeño ambiental.

De manera aislada cada ecuación responde a solo grupo-i de posibilidades estructurales de realización del potencial sistémico, manteniendo a los (n-1) grupos restantes "congelado" (fijos), y así sucesivamente para cada grupo. El conjunto conectado lo vuelve un sistema de ecuaciones que debería resolver el desempeño ambiental de un SE. Esto es, cada  $G_i(Y(t), \mathbf{M}(t)) = h_i(t)$  representa el desempeño ambiental de la i-ésima estructura o subsistema en particular, la cual contribuye a generar una fracción de nivel de  $Y(t)$  y fracciones de cada uno de los componentes de vector ambiental  $\mathbf{M}(t)$ .

Lo que estamos haciendo, metodológicamente, es un proceso de "re-construcción" de la realidad, en su fase de desagregación hacia procesos más elementales o básicos. Pero la desagregación no es sin límites o, más bien, está determinada (o ajusta) a la disponibilidad de información y naturaleza del análisis a realizar. Por el lado del SE, los sistemas contables determinan la descomposición estándar por sector o actividad económica, que usualmente es ya un proceso agrupado ("cluster"). Por el lado de los SA, no hay un sistema contable estándar, pero la tendencia es hacia la construcción de sistemas contables de flujos y acervos físicos de un SE-SA (ver Anexo III: sobre las PIOT).

---

<sup>83</sup> Se ha argumentado que el tratamiento para un vector ambiental de flujos-output  $\mathbf{W}(t)$  es completamente similar.



Se trata de dos formas de desagregación, una económica ('sector', 'actividad', 'proceso') y otra para objetivos ambientales, que en particular es por tipos de flujos físicos (manejo y uso de materiales). En la última generación de sistemas contables económico-ambientales, que incluyen una base *PIOT*, se fusionan ambos tipos de desagregación para dar origen a una matriz tridimensional (ver esquema de la figura 2.3-9).

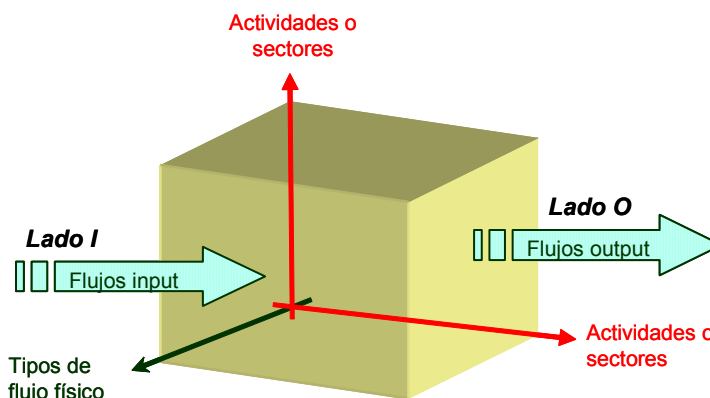


Figura 2.3-9. Representación de un sistema de contabilidad física para un SE.

El sistema de ejes de referencia muestra las dimensiones mencionadas y sus valores (datos) posibles en el ortante positivo, valores fuera del cubo no son posibles.

La conformación de "clusters" o agregados de estructuras económicas específicas (sectores o industrias) conforman los flujos input y output totales agregados del SE. Es decir, un SE es en realidad la representación de un mezcla compuesta (agregada) de subsistemas o subestructuras que se resumen en una relación funcional:  $G(Y(t), M(t))=h(t)$ . Esta contiene como posibilidad la regularidad estructural en forma de curva U-invertida. Las fluctuaciones dinámicas y factores de escala de cada uno de los subsistemas contenidos en SE determinan que las observaciones fluctúen y conformen la *banda U-invertida*: cambio estructural en el largo plazo. Si  $h(t)$  es una constante, resume un *cambio estructural invariante*<sup>84</sup> en el tiempo.

Por último, se pueden encontrar condiciones de desempeño de un SE a partir de la forma velocidad de cambio de  $G(\cdot)$ , con  $h(t)=\text{constante}$ :

$$dG(Y, M) = \frac{\partial G_i(Y, M)}{\partial Y} \cdot dY + \frac{\partial G_i(Y, M)}{\partial M} \cdot dM = dh_i = 0 \quad (2.23)$$

De esta expresión se puede derivar entonces un indicador de desempeño ambiental de un SE dado por:

$$\frac{dM}{dY} = - \frac{\frac{\partial G_i(Y, M)}{\partial Y}}{\frac{\partial G_i(Y, M)}{\partial M}} \dots \dots \dots (2.24)$$

Valores >0, =0 y <0 significan condiciones de materialización, desempeño estable o neutro y desmaterialización, respectivamente.

\*\*\* ... Fin de Interludio 4 ... \*\*\*

<sup>84</sup> Implica invariancia en los factores de escala y estabilidad estructural de todo el sistema.

## 2.4 Base empírica e integración de un modelo básico de gestión ambiental adaptativo

Un marco analítico sin base empírica es un recurso del análisis sin posibilidad de ser contrastable contra el “pedazo” de realidad que representa. El sistema analítico contiene la teoría sustantiva y las definiciones sobre las variables observables. En las secciones 2.2 y 2.3 se ha construido el objeto general del nuestro sistema analítico: la interdependencia SE-SA; se ha derivado también un *proceso de generación o formación de normas-umbral ambientales*, que es el núcleo del modelo de gestión adaptativo de control por normas que esboza en la sección 2.4.2<sup>85</sup>. Sin embargo, poco se ha especificado sobre la base empírica requerida que, esencialmente, se concentra en los sistemas contables.

### 2.4.1 Sobre una base empírica y contable (sistema observacional)

Como se busca construir un marco teórico-empírico se requiere entonces precisar más sobre el ámbito observacional. Con la metodología para construir modelos económicos (teórico-empíricos) se sigue un cierto canon y por analogía usa aquí: combinar elementos de la teoría sustantiva con la descripción contable, mediada por la observación y la obtención de datos.

La idea que se pretende volver operativa es la siguiente: hay un mecanismo posible de regulación ambiental de un SE para intervenir siempre que su desempeño se desvíe de un cierto “paquete” de normas-umbral ambientales y se requiere entonces tomar acciones que ajusten al sistema en la dirección que dictan las normas. Implementar procesos de gestión ambiental bajo un principio de control así, requiere de un sistema muy “completo” de registro sistemático de información empírica. Se ha dicho antes, cuando un control no es satisfactorio en un modelo teórico, generalmente, no mejora mediante la elaboración de una esfera real más desagregada; pero si el control es satisfactorio en tal modelo, entonces los controles recomendados deberían analizarse con la ayuda de modelos más detallados ¿Con qué detalle?

Tanto en la teoría económica como la ecológica se disponen de modelos muy desagregados, pero su construcción ha cubierto necesidades distintas y no hay forma directa de hacer compatibles las conexiones entre un SE y los SA; Suh (2005) explora sobre estas posibilidades.

Según las necesidades de un estudio en particular, puede haber dos posibilidades generales: i) desagregar mucho el lado del SE y casi nada los SA; como por ejemplo, hacemos en esta investigación para resolver un problema de atribución ambiental ( $PA_t$ ), donde se desagrega a 19 actividades económicas el cálculo del vector de intervención ambiental, o ii) compatible con un sistema contable (como en figura 2.3-9), desagregar con algunas metodologías mucho más los SA, por tipos de flujos físicos y de acervos de capital natural alterados; altamente recomendable que la desagregación fuera espacial también. Con ello tendríamos de una descripción mucho más completa de un sistema SE-SA y se mejoraría significativamente la evaluación de los impactos o consecuencias ambientales que resultan del vector de intervención ambiental. En esta dirección el trabajo de Heijungs (2001) ofrece grandes posibilidades para una exploración posterior.

Por la importancia y extensión acelerada del conocimiento reciente generado en el

---

<sup>85</sup> Este es un elemento sustantivo que justifica el uso de la especificación dinámica empleada en la sección 2.2.3.

mundo, pero sustancialmente en Europa, este tema se trata por separado en el Anexo II. En el cual se presenta una evolución del análisis de flujos físicos y se hace una evaluación crítica. Se revisa la experiencia europea como referente, porque han conformado el proyecto comunitario de construcción de sistemas contables con flujos físicos más avanzado y ambicioso del planeta. Se identifican áreas de aplicación, ampliación sustantiva de instrumentos e indicadores si se extienden ambientalmente las tablas I-O monetarias hacia tablas I-O medidas en unidades físicas. Y finalmente, se dimensiona el tamaño de los requerimientos (o implicaciones) para la construcción de sistemas de contabilidad nacional extendidos ambientalmente en México, asimilando y adaptando la experiencia la europea.

Se ha considerado necesario el detalle expuesto para abordar algunos temas porque la aplicación práctica es verdaderamente importante: Una mejor comprensión analítica y descripción contable de la interdependencia SE-SA, espacial y temporalmente, implica de manera directa el nivel al cual se realiza la gestión de problemas ambientales ¿Cuál es el nivel pertinente al cual abordar un problema ambiental desde el plano de la gestión o medidas de política? Como se afirmó, la respuesta está en incluir un principio de precaución, y lo más próximo que encuentro es el *principio europeo de subsidiaridad*, sostiene que al nivel más bajo posible que contenga todos los efectos relevantes. Por eso es necesario entender mejor el alcance espacial y temporal de todo problema ambiental.

## 2.4.2 Elementos generales<sup>86</sup> para integrar un modelo de gestión ambiental

En el marco general del contenido de este capítulo, el sentido que tiene perfilar un modelo de gestión ambiental es porque en él se integran los elementos del marco analítico construido en secciones anteriores y la base empírica sugerida en la sección 2.4.1 y el Anexo II.

Entre las “lecciones de la ecología” para la teoría económica ambiental está la recuperación analítica de las categorías de adaptación y selección, como procesos inseparables (ver sección 2.1). Hay esfuerzos sistemáticos y sólidos que apuntan hacia la elaboración de analogías explicativas de procesos económicos como la llamada economía evolutiva (Nelson y Winter , 1973; 1974; 1982; 2002) y en la propia EcEc.

Lo que importa destacar es que, esta visión ha influido en la manera de concebir la gestión ambiental, en especial, la modalidad de *control adaptativo mediante señales tipo umbral*.

Cabe aclarar que se trata de control por normas-umbral ambientales y no de ‘normas económicas’, aunque podrían ser consideradas. En consecuencia, ninguna norma-umbral ambiental regula directamente actividades económicas; el proceso de gestión involucra necesariamente el marco institucional en el que se inscriben.

---

<sup>86</sup> Las ideas fundamentales que sirven de base para elaborar esta sección fueron recuperadas de *Non-price control* de Kornai y Martos (1981); *Anti-Equilibrium* de J. Kornai (1971); y *Tesis de Doctorado* de M. Puchet (1994).

El objetivo o función general del modelo gestión ambiental es regulación de los flujos y acervos físicos de un sistema conjunto SE-SA, de tal manera que se cumpla con principio superior: transitar hacia actividades humanas de producción y consumo más sustentable en el tiempo (figura 2.4-1).

El modelo se diferencia de otras modalidades de gestión por su carácter adaptativo, lo cual implica que al menos debería contener capacidades “construidas” (análíticas e institucionales) para:

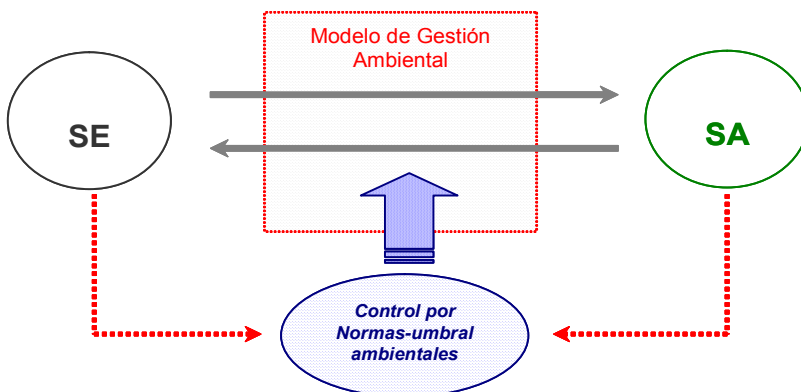


Figura 2.4-1. Modelo de gestión ambiental por control de normas

- i) Reaccionar (adaptar) ante cambios lentos o rápidos de los SA.
- ii) Anticipar cambios futuros (planeación).
- iii) Sensibilizar ante la existencia de umbrales ambientales mediante procesos de adaptación graduales o discretos (“saltos”), según lo requiera el estado del sistema conjunto SE-SA.

Dentro de este perfil general del modelo de gestión ambiental caben varias especificaciones dinámicas y de escala, con esto quiero decir que es formalizable por clases, como para un trabajo posterior sobre los módulos del modelo completo.

### **Estructura básica de un modelo de gestión ambiental adaptativo**

Los elementos o partes que conforman la estructura del modelo de gestión se han construido en este capítulo. Un marco analítico (teórico-empírico) para el análisis de la interdependencia SE-SA mediante su sistema físico de sustentación. Se ha aporta un proceso de formación o generación de normas-umbral ambientales. Se ofrece un fundamento para conectar un SE y sus SA (relación fundamental de acoplamiento) y se deriva un indicador-monitor del desempeño ambiental de un SE (o des/materialización).

Es parte fundamental del funcionamiento del modelo de gestión ambiental establecer un *principio de control* (general) que rige un cuerpo de acciones necesarias para alcanzar objetivos, y que conforman el “procedimiento” de operación (algoritmo). Se postula como un *principio de control por normas-umbral* ambientales al siguiente:

Durante su evolución, un SE se desvía de su desempeño “normal” si el cambio en sus SA ha excedido ciertos umbrales y se disparan con ello acciones correctivas (reacción) tendentes a ajustar el desempeño ambiental del SE en la dirección que dicta la norma.

El cuerpo de acciones de un proceso de gestión adaptativa, no siempre simultáneas, se realiza en cuatro fases: 1) identificación de cambios en los SA y el SE, 2) observación y cuantificación de los cambios, 3) concepción de criterios generales y medidas política pública

(decisiones de corte adaptativo), y 4) instrumentación de un programa (o Plan) de política ambiental sustentable, fase de reacción o respuesta institucional, y 5) evaluación de los efectos del programa (o Plan) implementado. Estas fases de realización de acciones institucionales cubren con plenitud el llamado *ciclo “completo” de evaluación ambiental de las actividades antropogénicas, o CEA*, adelantado en el capítulo 1.

Un parámetro muy importante asociado al proceso de gestión ambiental “completo” es el tiempo que transcurre entre la realización de acciones de la fase 1 y la fase 5, se llama: duración del proceso de gestión, *tiempo de reacción o tiempo de respuesta institucional*, siempre mayor que cero: no hay procesos de realización instantánea.

Por último, la fase 2 es una muy importante e imprescindible porque constituye la base empírica que retroalimenta de información (datos) al modelo de gestión. Por ende, debe contener un cuerpo de *criterios de vigilancia o monitoreo ambiental* que posibilite cuantificar el cambio en los SA y asociarlos al desempeño del SE. Se ha sintetizado en un esquema general en la figura 2.4-1.

Por ejemplo, una manera de asociar cambios en el desempeño ambiental del SE, que directamente tendrá efectos o alteraciones sobre los SA, es mediante un *índice de elasticidad o, más generalmente dicho, de reactividad*. Dado un conjunto de flujos de control o flujos-inputs al SE, que contienen un paquete de normas ambientales, representado por un vector de control  $u$  y conocido también un conjunto de flujos output, representado por un vector  $x$ , un índice de reactividad del sistema puede ser:  $\left[ \frac{x(t+1)-x(t)}{x(t)} \right] \div \left[ \frac{u(t+1)-u(t)}{u(t)} \right]$ . De esta naturaleza es el índice-monitor de des/materialización obtenido en la sección 2.3.3.

J. Kornai (1981) identifica dos fortalezas del control por normas: i) simplifica el proceso de toma de decisión oportuna y ii) estabiliza los procesos reales regulados por las normas. A mi parecer son características muy sugerentes para explorar en el futuro problemas estructurales de la gestión ambiental sustentable.

### ***Algunas consideraciones por explorar durante la integración de un modelo de gestión ambiental adaptativo por control de normas-umbral***

1. Las organizaciones de un SE toman sus decisiones según modalidades que articulan criterios de selección usando para ello, señales de información que recibe y emite. Los patrones de decisión implican siempre el procesamiento de estas señales y elaboración de escalas valorativas y electivas que llegan a ser tan complejas, como complejo sea el objeto de análisis. Este trabajo sugiere la extensión del *sistema social de señales* con la incorporación de señales físicas.
2. Para que los criterios de elección o las escalas de valores se conviertan en pautas es usual la formalización. Estas pautas distinguen y aíslan criterios y escalas que en las conductas de las organizaciones (decidores) casi siempre se mezclan. Por lo general, para un SE las pautas resultantes de estas formalizaciones son: *optimizadoras, adaptativas o de expectativas*.

La dirección que se impulsa con esta investigación es hacia la exploración de pautas adaptativas, donde las organizaciones de un arreglo institucional dado, actúan para adaptarse a un “paquete” de normas o valores típicos (umbrales) de variables-monitor resultantes del funcionamiento de un SE, con sus respectivas consecuencias sobre los SA.

3. Un modo decisional reiterativo de una organización en toda circunstancia evidencia un *comportamiento racional*; y éste es de carácter *estratégico* consideramos una racionalidad acotada en un contexto de incertidumbre. El ámbito de una ‘racionalidad ampliada’ requiere de un análisis desde una perspectiva de elaboración de modelos de gestión ambiental adaptativa.
4. Tentativamente se ha definido una *norma* como un valor típico o umbral de alguna señal o indicador del funcionamiento “crítico” de un SE que debería incluir, indirectamente, una la evaluación de sus consecuencias sobre sus SA. Así, tentativamente puede afirmarse también que:

**P15.** Un SE opera bajo un programa de *control por normas-umbral ambientales*, si la gestión del conjunto de normas permite regular, eficaz y efectivamente, el desempeño ambiental de un SE<sup>87</sup>, adaptándolo permanentemente a formas más sustentables en el tiempo.

Las normas-umbral no tienen porque ser necesaria y permanentemente fijas, dependerán siempre del conocimiento disponible, de la base empírica existente y la incertidumbre. Por eso, en tanto que son instrumentos que realimentan la capacidad de respuesta institucional, se considera muy pertinente explorar sobre el proceso de generación de una norma y la concepción de la misma.

Por ejemplo, una posibilidad sería dotar a la norma, como ‘valor típico o umbral’, del significado de ser *tan sustentable como razonablemente sea posible*, tomando en consideración factores de tipo económico, social y ambiental. Esto es, implícito estaría la consideración de un nivel dado de desarrollo del SE, un estado del conocimiento (teórico y empírico) sobre la interdependencia SE-SA y un conjunto de valores ambientales

---

<sup>87</sup> Es decir, las actividades antropogénicas que implican consecuencias (impactos) para los SA.

(sustentabilidad) socialmente aceptados.

5. El ámbito de la formación de la norma y el control del sistema son temas cruciales que requieren de investigación en profundidad. En *Non-price control*<sup>88</sup> J. Kornai realiza un análisis teórico donde distingue dos procesos: i) Proceso de formación de normas; y ii) Proceso de control del funcionamiento de un sistema de acuerdo a las normas vigentes; y hace los siguientes señalamientos:

“...Ambos son fenómenos dinámicos. La diferencia es que el primero se realiza para periodos más largos de tiempo...sólo sobre bases de análisis histórico puede uno entender la formación de una norma, mientras que, el control por normas puede tal vez ser reconocido más o menos sobre bases de observación directa del funcionamiento de ciertos mecanismos o procesos concretos de un sistema (Kornai, 1981; p:119).

Como bien sintetiza un poco después: “...la investigación sobre la formación de la norma es la tarea más profunda (simultáneamente más compleja) y la investigación sobre el control por normas la tarea más superficial (simultáneamente más fácil). Sin embargo, para el análisis ambos son procesos inseparables” (Kornai, 1981; p:119).

6. Las normas ambientales, como son entendidas en esta investigación, afectan esferas más amplias e involucran el marco institucional. Los mecanismos de control por normas-umbral pertenecen a la clase de relaciones sociales que implica volver operativo un principio de sustentabilidad rector del desempeño de un SE. Son normas con un fuerte componente institucional, impuesto intergeneracionalmente por la vía de algún “consenso” social, pero requerido para hacer viable un programa (plan) de políticas ambientales de corte sustentable.
7. Por último, para el análisis a escala regional, se considera de gran utilidad para la gestión ambiental “espacializada”, la elaboración de una tipología de *regímenes de regulación económico-ambiental*, entendiendo por *régimen* la combinación de alguna especificación estructural de un SE y su modo de regulación de los SA.

Este es un ámbito general, siempre muy útil para integrar, y que requiere un gran esfuerzo de investigación. Baste recordar que, el canon para construir marcos analíticos (modelos) requiere de: 1) un sistema contable (base empírica), 2) fundamentos analíticos, 3) análisis de viabilidad y 4) un análisis de controlabilidad. En este capítulo se han abordado de manera parcial, pero integral, los dos primeros requerimientos.

---

<sup>88</sup> En capítulo 4, “Control por normas” (Kornai y Martos, 1981). Puede consultarse también el capítulo 14 (“Adaptation and Selection”) del *Anti-Equilibrium* de J. Kornai (1971).

## **Capítulo 3**

---

# ***“Marco metodológico para evaluar el desempeño ambiental de economías regionales: Análisis de descomposición estructural (SDA) con flujos físicos”***

## **Contenido**

---

- 3.1 El objeto de la investigación empírica y el problema de la cuantificación de procesos de acoplamiento
  - 3.2 Modelo de análisis de descomposición estructural (SDA) con flujos físicos e índice de sustentabilidad regional o “especializado”
  - 3.3 Uso del suelo y estimación de impactos (*huella ecológica*) en un marco analítico I-O
  - 3.4 Síntesis general del marco analítico y metodológico de la investigación
- Apéndice 3.1. Fundamentos del análisis de descomposición estructural (SDA)



## Capítulo 3. Marco metodológico para evaluar el desempeño ambiental de economías regionales: Análisis de descomposición estructural (SDA) con flujos físicos

Brevemente y para consolidar posiciones y resultados del capítulo anterior. Se ha elaborado una propuesta analítica para entender, primero, cómo usar los distintos registros de flujos y acervos físicos e interpretar sus variaciones en el tiempo, como “crónicas” de la evolución física de un sistema conjunto SE-SA (interdependencia), hasta donde sea posible realizar cada re-construcción analítica en particular. Segundo, tal re-construcción debe permitir comprender cómo ha sido el desempeño ambiental (pasado) de un SE y, para ello, se requiere cuantificar algunos procesos implícitos en dicha interdependencia. Con ello se estará en condiciones de evaluar el desempeño ambiental de una sociedad y, en principio, con la mejora del marco y su base empírica asociada, mejorar en el futuro las capacidades institucionales para anticipar eventos ambientales, sobre todo cuando sean naturaleza crítica.

Este capítulo, esencialmente de corte metodológico, tiene continuidad inmediata con la sección 2.3.3, y se compone de un cuerpo central (tres secciones), un Apéndice 3.1 sobre los fundamentos del SDA y se complementa con un Anexo III sobre variantes metodológicas en el uso del SDA, para estimar los vectores de intervención (‘presión’) ambiental generada por la actividad humana.

El núcleo principal del capítulo contiene entonces, el planteamiento sobre el objeto de investigación empírica, la hipótesis principal y su transformación operativa para su constatación con datos reales (sección 3.1). Posteriormente, se proporcionan argumentos que justifican el instrumento seleccionado para la cuantificación de algunos procesos de acoplamiento SE-SA, se expone entonces el modelo de análisis de descomposición estructural (SDA) con flujos físicos y se deriva después un índice relativo de sustentabilidad regional o “especializado” (sección 3.2). A continuación, por separado de las variables de flujo, se trata el factor suelo, como variable de acervo, y se estiman sus impactos mediante un enfoque de huella ecológica (EF), pero en un marco analítico I-O (Sección 3.3). Finalmente, en la sección 3.4 se realiza una síntesis de las posiciones y resultados de los capítulos 2 y 3, sobre el marco analítico y metodológico de esta investigación.

### 3.1 El objeto de la investigación empírica y el problema de la cuantificación de procesos de acoplamiento

Vamos de inmediato a exponer el objeto de investigación empírica, a postular la hipótesis principal y proceder a volverla operativa para su constatación con la realidad. Así, el objetivo principal consiste de la cuantificación de algunos procesos de acoplamiento de un SE a sus SA asociados, aplicados al caso de México en su agregado nacional y regional (RCM), usando los resultados obtenidos en la sección 2.3.3.

Para reflexionar sobre el contexto general, se adelanta la hipótesis principal (HP), la cual se postula como:

- HP.** El proceso de acoplamiento entre el nivel de actividad económica y la generación de presiones ambientales es *más intenso* en la Región Centro de México (RCM) que en el agregado promedio de la economía nacional.

Para volver operativa la hipótesis, esto es, construir la contrastación empírica vamos a utilizar los resultados obtenidos en la sección 2.3.3, en el cual se elabora un procedimiento para medir cambios en el desempeño ambiental de un sistema SE, con base en la ecuación (2.17):  $(\Delta m) \cdot Y + m \cdot \Delta Y = \Delta M$ .<sup>89</sup> Este procedimiento gráfico se transforma en uno analítico mediante el modelo de análisis de descomposición estructural con flujos físicos, como se detalla en la sección XXx. En este marco es posible obtener posteriormente un indicador-monitor de (des)materialización, a partir de la ecuación (2.19):  $\left(\frac{Y}{m}\right)_t \left(\frac{\Delta m}{\Delta Y}\right) = -1$ , la cual permitió definir un

*locus-frontera de transición* en el espacio  $(Y, m)$ , ver figura 2.3-7. Pero además, se argumentó porque el procedimiento era un proceso de “re-construcción” por tramos de la tendencia estructural realmente cuantificable. Con transformación realizada al espacio  $(Y, M)$ , se cuantificó en ese espacio el proceso de (des)materialización y se identificaron cuatro posibles dirección de cambio o tendencias por segmentos observables de la “historia completa”<sup>90</sup>, como se muestra en la figura 3.1-1.<sup>91</sup>

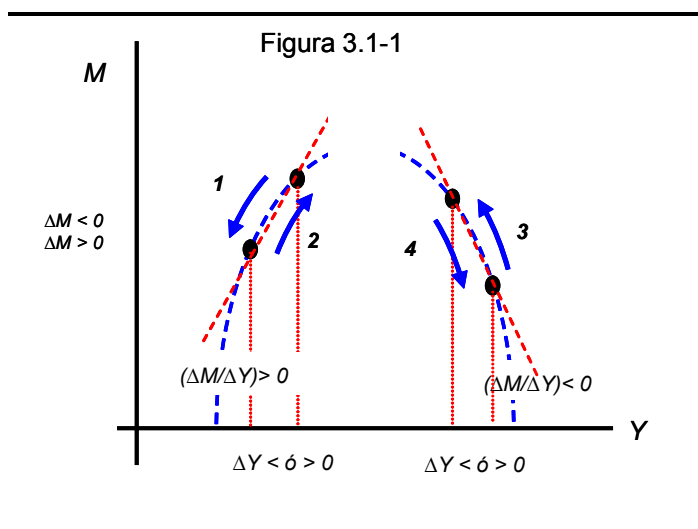
La ecuación (2.18):

$\frac{\Delta M}{\Delta Y} = \frac{\Delta m}{\Delta Y} \cdot Y + m$ , es directo observar que dados,  $Y$  y  $m$  valores siempre positivos, el signo de las variaciones  $\frac{\Delta M}{\Delta Y}$  está determinado por el signo de  $\frac{\Delta m}{\Delta Y}$ . Es decir, para identificar si el proceso de

acoplamiento está abiertamente (des)materializando es suficiente conocer el valor de la pendiente  $(\Delta m/\Delta Y)$ , con ello se ubica también el desempeño ambiental del SE a la izquierda o derecha del locus de transición  $((Y/m)_t, (\Delta m/\Delta Y)=1)$  en el espacio  $(Y, m)$ . El factor  $(Y/m)_t$  completa la caracterización estructural, representa las condiciones iniciales o finales del SE (nivel de desarrollo, antes o después del cambio observado).

Por lo que, si es posible “mapear” del espacio  $(Y, m)$  al espacio  $(Y, M)$ , entonces la tendencia estructural cuantificada por tramos de rectas (con dos datos en el tiempo), sea  $\Delta M > 0$  ó  $\Delta M < 0$ , se pueden cuantificar también en el espacio  $(Y, m)$  con la ecuación (2.19) y sus cuatro posibilidades esperadas se resumen en la tabla 3.1-1.

En la presentación e interpretación de los resultados del estudio de caso (Capítulo 4) se ve la conveniencia de trabajar con la variable ‘ $m$ ’ o coeficiente de intensidad de uso (o presión



<sup>89</sup> Que es una forma de la ecuación de velocidad de cambio en diferencias finitas:  $\Delta M_t/\Delta t = (\Delta m_t/\Delta t) \cdot Y_t + m_t \cdot (\Delta Y_t/\Delta t)$ ; ver sección 2.3.3.

<sup>90</sup> En el contexto del debate de la curva ambiental de Kuznets (CAK), de manera separada, están bien documentados empíricamente procesos de acoplamiento tipo 1 y 4 (figura 3.1-1), y en un trabajo de Bruyn y Opschoor (1997) se encuentran evidencias de procesos de re-acoplamiento (proceso tipo 3). En nuestro marco analítico, se interpretan los procesos tipo 3 y 1 como tendencias “regresivas”, en contraste con las tendencias “progresivas” en términos de un proceso secuencial de desarrollo (de 1 → 4).

<sup>91</sup> Resume las figuras 2.3-8a y 2.3-8b de la sección 2.3.3.

ambiental), en lugar de los flujos totales 'M'. En consecuencia, se propone como variable monitor el indicador  $(y/m)_t(\Delta m/\Delta y)$ , una medida de sustentabilidad (fuerte), para realizar la verificación empírica de la hipótesis.

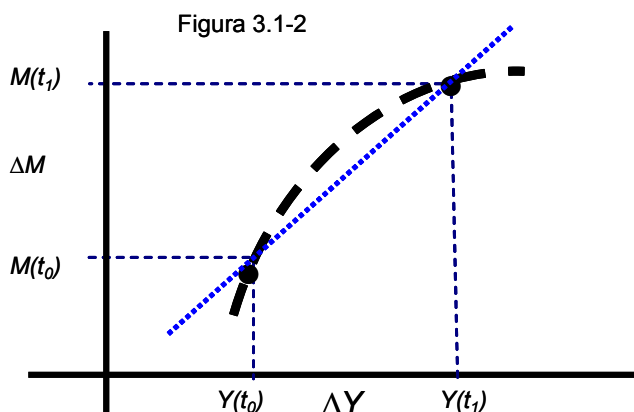
**Tabla 3.1-1. Procesos de acoplamiento esperados para un SE\***

Procesos posibles en el espacio (m, Y)	$\Delta m$	$\Delta Y$	$(\Delta m/\Delta Y)$	$(Y/m)_t(\Delta m/\Delta Y)$
1	+	+	+	> -1 ; Materializa
2	-	-	+	> -1 ; Materializa
3	-	+	-	Entre (-1 y 0); Mat. ligera ó < -1 ; Desmaterializa
4	+	-	-	Entre (-1 y 0); Mat. ligera ó < -1 ; Desmaterializa

\*/ Con el factor  $(y/m)_t$  evaluado en  $t_0$  o  $t_1$  se completa la información para determinar la localización precisa del estado del sistema en relación al *locus de transición* (figura 2.3-7).

### El problema de cuantificación de procesos de acoplamiento

En un marco de I-O es viable integrar los procesos de producción y consumo de la estructura de un SE con los vectores de flujos físicos intrínsecamente asociados. Por lo tanto, se puede utilizar para medir los cambios de los procesos involucrados mediante una aproximación lineal



por tramos a la tendencia general del desempeño ambiental del SE, para un periodo de tiempo dado. En la en figura 3.1-2 se representa un segmento de la curva o regularidad estructural (curva punteada), es una representación de una sección de tal regularidad, cuya aproximación lineal se construye mediante dos puntos extremos que son los datos observados para un SE<sup>92</sup>.

Para cuantificar estos procesos de cambios emplearemos la técnica del análisis de descomposición estructural (SDA) con flujos físicos. El SDA es un

enfoque de estática comparativa el cual permite descomponer los cambios históricos de una variable de política en sus efectos determinantes o "causas". Ha sido empleado ampliamente para estudios de estructura económica y en problemas ambientales relacionados con el uso de energía, emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes y recursos naturales (por ejemplo, agua). En la siguiente sección (3.2) se expone con detalle el modelo SDA usado y en el Apéndice 3.1 se detallan los fundamentos de un problema general de SDA y la manera de resolverlo.

<sup>92</sup> Véase el Apéndice 3.1 los fundamentos de un problema general de análisis de descomposición estructural y la forma de resolverlo. Este es problema idéntico.

### **Algunos comentarios sobre la curva ambiental de Kuznets (CAK) y la curva “U-invertida”**

Como se argumentó en el capítulo 2, nuestra estrategia para derivar la regularidad estructural o curva U-invertida, aunque compatible, es (muy) diferente a la forma en que usualmente se ha abordado su verificación frente a datos reales (observados). El debate estándar sobre la CAK ha sido dominado por trabajos de corte empírico y hasta muy recientemente han aparecido desarrollos teórico-conceptuales (ver Dinda, 2004)<sup>93</sup>.

En consecuencia, se considera pertinente exponer solo una nota sustantiva sobre el análisis econométrico estándar elaborado para la relación entre ingreso y presiones ambientales; en el Cuadro de apoyo 3.1-1 se presenta un resumen del planteamiento general del problema y las siete posibilidades de prueba. Como se mencionó en esta sección 3.1, para nuestro caso de aplicación no existe información disponible y de buena calidad (series de tiempo) para largos periodos de tiempo. Más bien, esta recuperación se realiza por las lecciones que a dejado este debate-CAK: *i)* ha mejorado el conocimiento e interpretación de procesos de desempeño ambiental de un SE y *ii)* sirve como referente para comparar resultados equivalentes obtenidos mediante nuestro enfoque de SDA.

Esto es importante porque se avanza en la misma dirección y es congruente, a mi juicio, la estrategia de investigación que hemos seguido para derivar una curva U-invertida, de la cual se puede recordar como una causa fundamental de esta regularidad estructural a las condiciones de finitud (absoluta y parcial) del sistema físico de sustentación de un sistema SE-SA (ver sección 2.3.3).

#### **Cuadro de apoyo 3.1-1. Enfoque econométrico estándar para tratar la CAK.**

La evidencia empírica acumulada sobre la existencia de una curva ambiental de kuznets (CAK) ha permitido consolidar un enfoque econométrico estándar. La especificación general de un modelo en forma reducida para probar diferentes relaciones entre contaminación (presión ambiental) y nivel de ingreso es:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_1 x_{it} + \beta_2 x_{it}^2 + \beta_3 x_{it}^3 + \beta_4 z_{it} + \varepsilon_{it}$$

Donde  $y$  es un indicador ambiental,  $x$  es nivel de ingreso y  $z$  relaciona otras variables que influyen sobre la degradación ambiental;  $\alpha$  es una constante,  $\beta_k$  es el coeficiente de la  $k$ -ésima variable explicativa, y  $t$  e  $i$  índices de tiempo y espacio económico (país, región, etc.). Las posibilidades de prueba son:

- i)  $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ . Patrón plano o no hay relación entre  $x$  y  $y$ .
- ii)  $\beta_1 > 0$ , y  $\beta_2 = \beta_3 = 0$ . Relación lineal monotónica creciente entre  $x$  y  $y$ .
- iii)  $\beta_1 < 0$ , y  $\beta_2 = \beta_3 = 0$ . Relación lineal monotónica decreciente entre  $x$  y  $y$ .
- iv)  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$ , y  $\beta_3 = 0$ . Relación U-invertida (**CAK**) entre  $x$  y  $y$ .
- v)  $\beta_1 < 0$ ,  $\beta_2 > 0$ , y  $\beta_3 = 0$ . Relación en forma de U entre  $x$  y  $y$ .
- vi)  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$ , y  $\beta_3 > 0$ . Relación cúbica o forma ‘N’ entre  $x$  y  $y$ .
- vii)  $\beta_1 < 0$ ,  $\beta_2 > 0$ , y  $\beta_3 < 0$ . Opuesta a forma ‘N’ invertida entre  $x$  y  $y$ .

Un gran número de estudios han usado las especificaciones del modelo para probar la emergencia de relaciones entre ingreso y presiones ambientales, el patrón CAK es sólo una posibilidad.

<sup>93</sup> El debate, inconcluso aún, está documentado ampliamente en varios números del *Journal of Ecological Economics*; es uno de los grandes temas y regulares de esta publicación.

Nuestro enfoque de análisis está en la dirección de las preocupaciones de uno de los estudios (*survey*) más completo y actualizado sobre el debate-CAK, del cual se extraen sólo dos de las seis grandes recomendaciones sobre una agenda de investigación: 1) usar modelos estructurales en lugar de modelos en forma reducida para identificar mecanismos reales y 2) el SDA pueden aportar más claridad sobre cambios estructurales en: tecnología, patrones de consumo y costumbres sobre usos de los factores ambientales (Dinda, 2004).

### **3.2 Modelo de análisis de descomposición estructural (SDA) con flujos físicos e índice de sustentabilidad regional o “especializado”**

Una investigación de economía aplicada suele guiarse por una secuencia de preguntas como la siguiente: ¿Cuál es el problema? ¿Con qué instrumentos lo resuelvo? y ¿tengo la información suficiente para aplicar el instrumento seleccionado? La secuencia importa en tanto que cualquier eslabón de las respuestas que no pueda elaborarse trunca toda aplicación.

Para esta investigación se consideran “resueltos” las dos primeras preguntas, con la solvencia suficiente (mínima) que requiere el estudio, aunque es necesario insistir en la deficiente calidad de la información (base empírica) disponible para el caso de México y la RCM en particular. Sin embargo, en el Anexo IV se expone en detalle el conjunto de problemas asociados con información empírica requerida para instrumentar el modelo de SDA con flujos físicos propuesto.

#### ***¿Por qué un análisis de descomposición estructural (SDA)?***

En la literatura sobre análisis I-O se han publicado varios enfoques para realizar análisis económico-ambiental, desde el enfoque de Daly-Isard que recupera el trabajo de Leontief (1971) hasta el primer salto de un modelo de I-O a uno de equilibrios general de Ayres y Kneese (1969). Aunque en la actualidad los avances más importantes se han desarrollado en la dirección de los modelos de equilibrio general computable (CGE); como se ha dicho son difíciles de implementar por la cantidad y calidad de los parámetros que demandan. Sin embargo, la pertinencia y potencial de aplicación de marcos analíticos con base en tablas I-O (híbridas) para estudios económico-ambientales no se ha puesto en duda como para su abandono<sup>94</sup>.

Por el contrario, la presentación de la primera tabla I-O, con flujos medidos completamente en unidades físicas (PIOT-alemana y danesa)<sup>95</sup>, ha desencadenado un “resurgimiento” de estudios de cambio estructural y desarrollos metodológicos en la dirección del análisis de flujos y acervos físicos de materiales y energía en los estudios económico-ambientales. Una PIOT es hoy el referente superior desde el cual todos los enfoques anteriores son del tipo ‘MIOT-híbridos’. Aunque entre ellos existan fuertes diferencias, por ejemplo, un enfoque NAMEA es un buen “proxy” de una PIOT, pero tal vez a un costo mucho menor.

En síntesis, a pesar de las observaciones críticas, los modelos I-O híbridos se

---

<sup>94</sup> Número especial de 1998 sobre el tema en *Economic System Research*; y Duchin y Steenge (1999) sostiene que: ...En un contexto real de información restringida, los modelos I-O híbridos y, en general, extendidos ambientalmente, son instrumentos más confiables que modelos de CGE, cuyos parámetros económico-ambientales son “estimados” o tomados de otras estructuras económicas mediante criterios de similitud.

<sup>95</sup> Para más detalles sobre un sistema de contabilidad física, compatible con un SCN, véase el Anexo III una exposición comparada de la tendencia evolutiva de las bases empíricas: *MIOT-híbrida* → *NAMEA* → *PIOT*.

consideran teóricamente sólidos y las relaciones tecnológicas entre inputs y outputs son más estables en unidades físicas que en valores económicos (Hoskstra y van den Bergh, 2002)<sup>96</sup>.

Esta la dirección de la metodología que empleamos en este trabajo, una perspectiva de análisis de flujos físicos en un marco de análisis SDA. Ésta metodología se ha vuelto popular por varias razones.

1. Supera parcialmente el carácter estático de los modelos I-O, pues permite examinar cambios discretos en el tiempo de los coeficientes técnicos y la llamada “mezcla” sectorial.
2. Es posible analizar la respuesta ante cambios de precios, los cuales son implícitos aún en modelos con base en tablas I-O (en valor).
3. Es una alternativa pragmática frente a la estimación econométrica, la cual requiere de series de tiempo largas y confiables. En contraste, un SDA requiere mínimo de dos tablas I-O para implementarse<sup>97</sup>.

La disponibilidad de información económico-ambiental en México es muy insuficiente, falta de estructura y sentido de orden jerárquico espacial y temporal. El sistema de cuentas nacionales (SCN) no está completamente “espacializado” a nivel de entidad federativa y menos municipal y no se dispone de un registro sistemático de flujos físicos, debidamente “espacializado” y desagregado por tipos de actividad económica (sectorializado), esto es: un sistema de contabilidad física compatible con el SCN.

En consecuencia, como no se dispone de información detallada y series de tiempo suficientes sobre registros contables de flujos físicos, pero como se dispone de viejas tablas I-O (1986 y 1993) para el agregado nacional, la alternativa a trabajar consistió en “reconstruir” los vectores de uso de factores ambientales (“espacializados”) e integrarlos en una *tabla I-O híbrida* (1986 y 1993) y realizar entonces un análisis de descomposición estructural (SDA).

Como se ha dicho, esta técnica permite separar efectos determinantes (“causales”) de usos de factores ambientales relacionados con las actividades económicas. En el capítulo 4 se presentan los resultados y la interpretación del SDA para los agregados: RCM y nacional. El análisis con el modelo SDA construido trata los cuatro factores ambientales para los cuales se dispone de información parcial en México, son indicadores de presión ambiental por usos del agua como insumo y generación de desechos: aguas residuales, desechos sólidos municipales y desechos peligrosos.

A mi juicio, en la medida en que las sociedades sigan aumentando consistentemente la intensidad de las presiones ambientales, la tendencia de los próximos años apuntará en la dirección de mayores desarrollos contables y marcos de análisis con los flujos físicos que generan los procesos antropogénicos. Sobre todo ante escenarios críticos en los cuales es urgente estabilizar procesos ambientales críticos porque han alcanzado estados umbral y, por ende, es congruente proponer la elaboración, documentada científicamente, de normas-umbral ambientales dentro del paquete general de políticas ambientales de control por normas.

---

<sup>96</sup> Por ejemplo, el sector de automóviles requiere 1000 kg de metal por auto, si el precio del metal se duplica (*ceteris paribus*) el coeficiente monetario I-O también lo hace, mientras que el coeficiente I-O híbrido permanece constante; en Hoskstra y van den Bergh, 2002).

<sup>97</sup> Más aún, se ha demostrado heurísticamente que las ecuaciones de cálculo con un SDA son ligeramente más restrictivas que las más avanzadas funciones de producción estimadas econométricamente (Rose, 1999).

### 3.2.1 Modelo principal de descomposición estructural con flujos físicos para su aplicación al estudio de caso

El análisis se ha construido como una relación fundamental entre el flujo de ingresos que genera el nivel de actividad de un SE y un flujo físico input o output ( $M$  ó  $W$ ) a la vez. Como se ha argumentado debidamente en la sección 2.3.3, el enfoque es de aplicabilidad general a todos los flujos  $M$  y  $W$ . Se realizó así, para facilitar la representación gráfica y transitar, suavemente, hacia una analítica, se ilustró mediante un caso particular dado por combinaciones entre los pares:  $(Y, M)$  y  $(Y, m)$ .

En consecuencia, para construir la manera general de cuantificar los procesos de acoplamiento SE-SA señalados, sólo basta recordar que la relación funcional propuesta fue del tipo:  $M = f(m, Y) = m \cdot Y$  (sección 2.3.3), mediante una relación idéntica pero general:  $\mathbf{f} = \mathbf{E}\mathbf{x}$ . Donde ahora se representa desagregadamente y para todos los flujos físicos  $M$  y  $W$  con el vector  $\mathbf{f}$  o de intervención ambiental (o factores), en general.

Suponer que el elemento genérico  $f_{ij}$  de  $\mathbf{F}$  representa el uso del  $i$ -ésimo tipo de factor ambiental derivado de la  $j$ -ésima actividad económica, sea extracción de recursos o disposición de desechos, entonces el uso total del factor ambiental generado por todas las actividades puede determinarse como una función del output total ( $\mathbf{x}$ ):

$$\mathbf{f} = \mathbf{E}\mathbf{x} \quad (3.1)$$

El elemento  $f_i$  de  $\mathbf{f}$  indica el uso del factor- $i$  generado por todas las actividades:  $\mathbf{f} = \mathbf{F}\mathbf{i}$  y  $\mathbf{E} = \mathbf{F}\mathbf{x}^{-1}$ ; donde el genérico  $e_{ij}$  de  $\mathbf{E}$  representa el coeficiente de intensidad de uso (cantidad de uso factor- $i$  generado por unidad de valor del producto de la actividad- $j$ ). Adicionalmente podemos separar el efecto de composición o estructura de demanda del efecto del volumen mediante:

$$\mathbf{f} = \mathbf{E}\mathbf{x} = \mathbf{E}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{y} = \mathbf{E}\mathbf{S} \left[ \frac{\mathbf{y}}{(\mathbf{i}'\mathbf{y})} \right] (\mathbf{i}'\mathbf{y}) \quad (3.2)$$

con  $\mathbf{S} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ . En esta expresión (3.2) los cambios en composición se han separado de los cambios en volumen y se puede expresar también como:

$$\mathbf{f} = \mathbf{E}\mathbf{S}\mathbf{y}_s y_e \quad (3.3)$$

Si reagrupamos la ecuación (3.3) en un primer componente estructural, generador de la intervención ambiental total, dada por  $\mathbf{E}\mathbf{S} \approx m$ , y un segundo componente, que agrupa el efecto total del ingreso:  $\mathbf{y}_s y_e \approx Y$ ; compuesto de una parte debida a la composición ( $\mathbf{y}_s = \mathbf{y}/(\mathbf{i}'\mathbf{y})$ ) y otra debida a la escala de actividad de un SE ( $y_e = (\mathbf{i}'\mathbf{y})$ ), aproximada mediante el volumen o tamaño del ingreso total generado en el periodo.

Para estimar estos efectos como cambios anuales (o periodo),  $\Delta\mathbf{f}$ , se recurre al uso de una función lineal y aditiva de crecimiento económico, expresado en términos de ganancias o pérdidas en los valores de los siguientes cuatro componentes causales:

1. efectos de los cambios en la generación de desechos por unidad de valor monetario del producto que la propicia,  $\Delta\mathbf{E}$ ;
2. efectos por cambios en la estructura de la producción,  $\Delta\mathbf{S}$ ;

3. efectos por cambios en la composición del gasto en demanda final,  $\Delta \mathbf{y}_s$  (estilo de vida); y
4. efectos por cambios en el volumen de la demanda final,  $\Delta y_e$ <sup>98</sup>.

La ecuación fundamental de descomposición estructural es:

$$\Delta \mathbf{f} = \mathbf{f}_1 - \mathbf{f}_0 = \mathbf{E}_1 \mathbf{S}_1 \mathbf{y}_{s1} y_{e1} - \mathbf{E}_0 \mathbf{S}_0 \mathbf{y}_{s0} y_{e0} \quad (3.4)$$

Se puede empezar el desarrollo a partir de cualquiera de los extremos del periodo de análisis, el proceso es el mismo. Vamos a ilustrarlo del tiempo final al inicial insertando las  $\Delta$ 's en el orden de los factores determinantes, una a la vez (de izquierda a derecha) mediante la sustitución de  $\mathbf{E}_1 = \mathbf{E}_0 + \Delta \mathbf{E}$ ,  $\mathbf{S}_1 = \mathbf{S}_0 + \Delta \mathbf{S}$ ,  $\mathbf{Y}_s = \mathbf{y}_s + \Delta \mathbf{y}_s$ , y  $\mathbf{Y}_e = \mathbf{y}_e + \Delta y_e$ . De esta manera llegamos a la primera forma polar, última ecuación del bloque de ecuaciones siguientes:

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{f} &= (\Delta \mathbf{E}) \mathbf{S}_1 \mathbf{y}_{s1} y_{e1} + \mathbf{E}_0 \mathbf{S}_1 \mathbf{y}_{s1} y_{e1} - \mathbf{E}_0 \mathbf{S}_0 \mathbf{y}_{s0} y_{e0} \\ \Delta \mathbf{f} &= (\Delta \mathbf{E}) \mathbf{S}_1 \mathbf{y}_{s1} y_{e1} + \mathbf{E}_0 (\Delta \mathbf{S}) \mathbf{y}_{s1} y_{e1} + \mathbf{E}_0 \mathbf{S}_0 \mathbf{y}_{s1} y_{e1} - \mathbf{E}_0 \mathbf{S}_0 \mathbf{y}_{s0} y_{e0} \\ \Delta \mathbf{f} &= (\Delta \mathbf{E}) \mathbf{S}_1 \mathbf{y}_{s1} y_{e1} + \mathbf{E}_0 (\Delta \mathbf{S}) \mathbf{y}_{s1} y_{e1} + \mathbf{E}_0 \mathbf{S}_0 (\Delta \mathbf{y}_s) y_{e1} + \mathbf{E}_0 \mathbf{S}_0 \mathbf{y}_{s0} y_{e1} - \mathbf{E}_0 \mathbf{S}_0 \mathbf{y}_{s0} y_{e0} \\ \Delta \mathbf{f} &= (\Delta \mathbf{E}) \mathbf{S}_1 \mathbf{y}_{s1} y_{e1} + \mathbf{E}_0 (\Delta \mathbf{S}) \mathbf{y}_{s1} y_{e1} + \mathbf{E}_0 \mathbf{S}_0 (\Delta \mathbf{y}_s) y_{e1} + \mathbf{E}_0 \mathbf{S}_0 \mathbf{y}_{s0} (\Delta y_e) \end{aligned} \quad (3.5)$$

Una opción disponible para superar el problema de no-unicidad la proponen Dietzenbacher & Los (1998) mediante el uso de la regla del promedio de las dos formas polares siguientes:

$$\Delta \mathbf{f}_p^1 = (\Delta \mathbf{E}) \mathbf{S}_1 \mathbf{y}_{s1} y_{e1} + \mathbf{E}_0 (\Delta \mathbf{S}) \mathbf{y}_{s1} y_{e1} + \mathbf{E}_0 \mathbf{S}_0 (\Delta \mathbf{y}_s) y_{e1} + \mathbf{E}_0 \mathbf{S}_0 \mathbf{y}_{s0} (\Delta y_e) \quad (3.6)$$

Segunda forma polar:

$$\Delta \mathbf{f}_p^2 = (\Delta \mathbf{E}) \mathbf{S}_0 \mathbf{y}_{s0} y_{e0} + \mathbf{E}_1 (\Delta \mathbf{S}) \mathbf{y}_{s0} y_{e0} + \mathbf{E}_1 \mathbf{S}_1 (\Delta \mathbf{y}_s) y_{e0} + \mathbf{E}_1 \mathbf{S}_1 \mathbf{y}_{s1} (\Delta y_e) \quad (3.7)$$

Otra opción que prueban los autores es usar el promedio de todas las formas de descomposición, que para el caso de 4 factores le corresponden 24 formas, las ventajas de cálculo son obvias cuando se emplea el promedio de las dos formas polares; ambos promedios presentan valores muy cercanos (Dietzenbacher y Los, 1998). En consecuencia, el efecto total por las contribuciones de los cuatro factores se estima así:

$$\Delta \mathbf{f}^m = \frac{1}{2} (\Delta \mathbf{f}_p^1 + \Delta \mathbf{f}_p^2) \quad (3.8);$$

Mientras que las contribuciones específicas por factor tienen las expresiones siguientes:

1. Los efectos de los cambios en la generación de desechos por unidad de valor monetario del producto que la produce,  $\Delta \mathbf{E}$ :

$$\Delta \mathbf{E}^m = \frac{1}{2} [(\Delta \mathbf{E}) \mathbf{S}_1 \mathbf{y}_{s1} y_{e1} + (\Delta \mathbf{E}) \mathbf{S}_0 \mathbf{y}_{s0} y_{e0}] \quad (3.9);$$

2. Los efectos por cambios en la estructura de la producción,  $\Delta \mathbf{S}$ :

---

<sup>98</sup> Este efecto de volumen es una ilustración de un aspecto económica de los problemas de escala (SE-SA).



$$\Delta \mathbf{S}^m = \frac{1}{2} [\mathbf{E}_0 (\Delta \mathbf{S}) \mathbf{y}_{s1} y_{e1} + \mathbf{E}_1 (\Delta \mathbf{S}) \mathbf{y}_{s0} y_{e0}] \quad (3.10);$$

3. Los efectos por cambios en la composición del gasto en demanda final,  $\Delta \mathbf{y}_s$  (estilo de vida):

$$\Delta \mathbf{y}_s^m = [\mathbf{E}_0 \mathbf{S}_0 (\Delta \mathbf{y}_s) y_{e1} + \mathbf{E}_1 \mathbf{S}_1 (\Delta \mathbf{y}_s) y_{e0}] \quad (3.11);$$

4. Los efectos por cambios en el volumen de la demanda final,  $\Delta y_e$ :

$$\Delta y_e^m = \frac{1}{2} [\mathbf{E}_0 \mathbf{S}_0 \mathbf{y}_{s0} (\Delta y_e) + \mathbf{E}_1 \mathbf{S}_1 \mathbf{y}_{s1} (\Delta y_e)] \quad (3.14);$$

Se ha mostrado que el número de formas de descomposición excede con mucho las  $n!$ , cuando también en esas formas se toman en consideración los cambios múltiples y simultáneos, o términos de interacción tales como  $[(\Delta \mathbf{E})(\Delta \mathbf{S}) \mathbf{y}_{s1} y_{e1}]$  y  $[(\Delta \mathbf{E})(\Delta \mathbf{S})(\Delta \mathbf{y}_s) y_{e1}]$  (De Haan, 2001).

Sin embargo, la interpretación económica (o ambiental) de los cambios múltiples no es directa y la complejidad podrá aclararse con los avances en la teoría. Mientras tanto, la vía más recomendable será la separación de efectos siempre y cuando la descomposición sea lo más exacta posible. La técnica SDA descrita se emplea en esta investigación para realizar la contrastación empírica de la hipótesis principal y la obtención de otros resultados para el análisis estructural de los flujos físicos generados.

Por último, es importante destacar algunos comportamientos estructurales (sectoriales) del desempeño ambiental de un SE en relación con sus flujos físicos. Es bastante creíble que la especificidad del sector económico determine una ubicación estructural, a uno u otro lado de una curva U-invertida (o CAK). Por ejemplo, el crecimiento de los sectores que concentran el manejo de flujos físicos de un SE está bien identificado: algunas ramas del sector primario y industria manufacturera, y sus cambios están determinados fundamentalmente por el crecimiento en relación directa al tamaño de sus mercados.

El hecho de que un SE “terciarice” sus actividades (servicios) no implica necesariamente la desmaterialización. Justo por los efectos indirectos que se expresan en demandas de bienes materiales sin cambios relevantes en los estilos de vida de la población, es más fácil que un SE desmaterialice por cambio en los pesos relativos en los niveles actividad económica en el agregado nacional o regional.

Pero son en realidad los cambios tecnológicos e institucionales los que explican la posibilidad de que un SE evolucione mediante “saltos” o transiciones de cambios en la pendiente de la tendencia estructural. Aunque los cambios tecnológicos se generan al nivel de los sectores y derraman de ahí al conjunto del SE, crean sinergias sólidas de procesos más eficientes en los usos de materiales y energía, la gran resultante podría ser una desmaterialización generalizada del SE<sup>99</sup>.

Sin embargo, los cambios en sectores que producen y manejan los grandes volúmenes de flujos físicos en un SE, usualmente, son poco profundos y generalizados, pues se trata de

---

<sup>99</sup> Estos cambios han sido profundos y acelerados en sectores relacionados con la miniaturización de los dispositivos de manejo de información (por ejemplo, computación, telecomunicaciones, etc.), pero no son continuos, sino son saltos discretos en el tiempo. Son procesos esencialmente localizados en el ámbito de la producción.

sectores tecnológicamente dependientes del volumen de la demanda (vidrio, cemento, plásticos, manejo del agua), muchos muy tradicionales, pero siempre indispensables. Tan directa es la relación de dependencia que a mayor población mayor es la demanda, involucrados están los patrones de consumo (estilos de vida). Usos más eficientes que operen desde la esfera del consumo y se transmiten a la esfera de la producción, implican mecanismos y duración de procesos de más largo plazo.

### 3.2.2 Índice de sustentabilidad regional o "espacializado"

Una vez construido el modelo SDA con flujos físicos, se pueden realizar estimaciones desagregadas espacial y sectorialmente para las posibilidades expuestas en este capítulo. De igual manera, con la misma desagregación, puede estimarse el indicador-monitor de acoplamiento como medida del desempeño ambiental de un SE, nacional y regional (RCM). Sin embargo, en el capítulo 4 puede observarse que la interpretación de los resultados desagregados se vuelve muy engorrosa e inmanejable, y más aún cuando se realizan comparaciones compatibles entre pares de espacios económicos (o regiones). Por esta razón, se propone un *índice relativo de sustentabilidad 'espacializado'*<sup>100</sup> obtenido por la comparación (cociente) entre los indicadores-monitor (*IS*) asociados a cada espacio económico de interés (Nacional y RCM).

Con la suficiencia requerida para la investigación, en el capítulo 2 se ha argumentado que el indicador-monitor es una medida de sustentabilidad (fuerte) en tanto que descansa en datos de flujos físicos que constituyen el vector de intervención sobre los SA, o presiones que inevitablemente van a materializarse como impactos sobre los acervos altamente diferenciados de capital natural. Estas consecuencias podrían representar pérdidas funcionales graduales o definitivas (irreversibles) en los SA. Por ende, las variaciones en los valores del indicador son aumentos o decrementos en las presiones ambientales que califican el desempeño ambiental de un SE, tendencialmente, más o menos sustentable con respecto al referente de la comparación.

Entonces, para cada espacio o región económica se calcula el indicador como:  $IS=(y/m)_t$  ( $\Delta m/\Delta y$ ), los valores que puede tomar son:

$$IS = \left(\frac{y}{m}\right)_t \cdot \left(\frac{\Delta m}{\Delta y}\right) = \begin{cases} > -1.0 \\ 1.0 \\ < -1.0 \end{cases} \quad (3.15)$$

Valores mayores que -1 indican que el desempeño ambiental del SE está *materializando* o está sobre una tendencia desfavorable para la sustentabilidad de los SA, se identifica mediante la etiqueta 'NS'. Valores iguales a 1 indican que el SE está en un estado neutro o de transición entre regímenes. La otra posibilidad, valores menores que -1, se interpreta como un desempeño ambiental que *desmaterializa*, o cuya tendencia es favorable a la sustentabilidad de los SA; se etiqueta con una 'S'.

Los cálculos se realizan para los espacios económicos nacional ('n') y regional ('r'); de igual manera, la interpretación es aplicable para calificar desempeños ambientales a nivel

---

<sup>100</sup> Aunque se le denomina 'índice', en realidad se trata de un indicador compuesto, pues se trata de un cociente de valores: el indicador IS de la región a comparar (RCM) entre el indicador IS de la región de referencia (Nacional). En estricto sentido, un índice debe cumplir con ciertas propiedades que garantizan consistencia y cierta precisión, ver por ejemplo el trabajo de Rodrigues, Giljum, *et al.* (2006).

sectorial. Las posibilidades que se generan con este ‘cruce’, o comparación entre desempeños ambientales de estructuras económicas diferentes, son combinaciones de los indicadores asociados ‘IS’ (ver tabla 3.2-1).

Un criterio general, viable, para jerarquizar el resultado de la comparación puede ser el siguiente: Estructuras económicas con pendientes negativas son más sustentables que las estructuras con pendiente positiva y, cuando son del mismo signo, la magnitud (valor absoluto) determina el grado de desempeño ‘sustentable’ de cada estructura. A continuación se instrumenta este criterio de calificación del desempeño ambiental comparado.

Tabla 3.2-1. Índice combinado Nacional-RCM.

$IS(RCM, NAL)$		NACIONAL	
		Menor que -1 (S)	Mayor que -1 (NS)
RCM	Menor que -1 (S)	$IS(S, S)$	$IS(S, NS)$
	Mayor que -1 (NS)	$IS(NS, S)$	$IS(NS, NS)$

S : sustentable porque desmaterializa; y NS : No sustentable porque materializa.

Tabla 3.2-2. Valor del Cociente ( $IS^n/IS^r$ ), según regiones del espacio ( $IS^n, IS^r$ )

Zonas o regiones del espacio ( $IS^n, IS^r$ )	Valor del Cociente: ( $IS^n / IS^r$ )
<b>Ia</b>	$S(r) > S(n)$
<b>Ib</b>	$S(r) < S(n)$
<b>IIa</b>	$NS(r) > NS(n)$
<b>IIb</b>	$NS(r) < NS(n)$
<b>III</b>	$S(r)$ y $NS(n)$
<b>IV</b>	$NS(r)$ y $S(n)$

Como los valores de los IS son números reales y, por lo tanto, su cociente ( $IS^n/IS^r$ ), entonces podemos representar (“mapear”) los pares de valores ( $IS^n, IS^r$ ) en un plano, facilitar la localización del desempeño de las estructuras económicas regionales e identificar seis zonas del espacio ( $IS^r, IS^n$ ); véase la tabla resumen 3.2-2. Con esta construcción podemos identificar las posibilidades siguientes (Figura 3.2-1):

En un espacio ( $IS^r, IS^n$ ), el criterio general entonces puede sintetizarse en las tres condiciones siguientes:

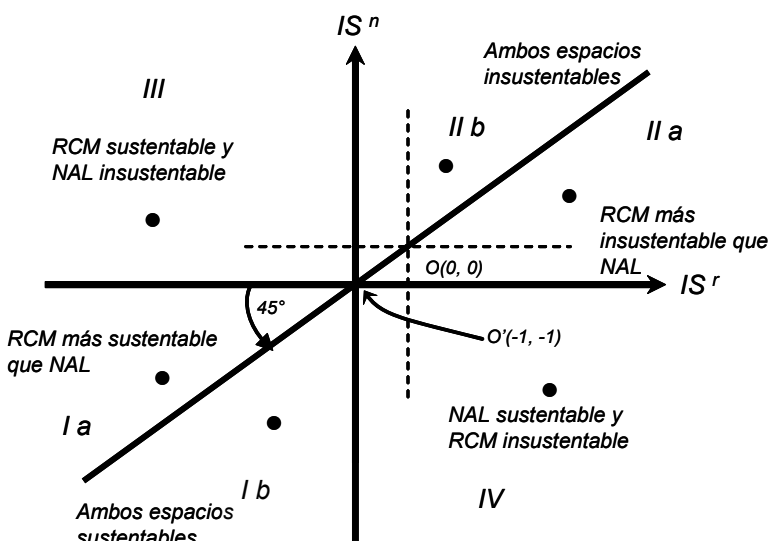


Figura 3.2-1. Espacio  $IS^r$  vs  $IS^n$ : Mapeo sobre el desempeño ambiental de economías regionales

1. Ambos  $IS^r$  y  $IS^n$  son menores que -1, significa que los dos espacios son sustentables (cuadrante I), pero si  $IS^r < IS^n$  significa que la RCM es más sustentable que el agregado nacional, representado en la zona **I-a** del espacio ( $IS^r, IS^n$ ); y viceversa, zona **I-b** del mismo espacio.
2. Ambos  $IS^r$  y  $IS^n$  son mayores que -1, significa que los dos espacios son insustentables (cuadrante II), pero si  $IS^r > IS^n$  significa que la RCM es más

insustentable que el agregado nacional, representado en la zona **II-a** del espacio ( $IS^r$ ,  $IS^n$ ) y viceversa, zona **II-b** del mismo espacio.

3.  $IS^r$  y  $IS^n$  presentan valores mayores y menores que -1, pero alternados. Dos casos cumplen esta condición:
  - i).  $IS^r < IS^n$  significa que la RCM es sustentable mientras que el agregado nacional es insustentable (cuadrante **III**); y viceversa,
  - ii)  $IS^r > IS^n$  significa que la RCM es insustentable mientras que el agregado nacional es sustentable (cuadrante **IV**);

A mi juicio, tenemos ya, los elementos suficientes para sostener que subyacen bases para derivar *reglas de negociación* del conflicto ambiental interespatial, dado que la distancia entre los desempeños de las regiones económicas comparadas es una medida directa del tamaño de sus responsabilidades ambientales. En consecuencia podemos abordar la solución del problema de atribución (PA<sub>t</sub>) postulado en el capítulo 1.<sup>101</sup>

### 3.3 Uso del suelo y estimación de impactos (*huella ecológica*) en un marco analítico I-O

Los cambios de uso del suelo son también expresiones concretas de presiones ambientales generadas por las actividades humanas y, por tanto, el factor ambiental *suelo* es una variable-*punte* muy relevante entre procesos de corto y largo plazos. Más importante aún, es un vínculo natural con el sistema físico de sustentación del sistema SE-SA. A diferencia de las variables ambientales de tipo flujo, el suelo es una variable de acervo y tiene asociada información intrínseca y crucial para el análisis de procesos ambientales críticos. Ahí está contenida la información sobre la sustentación biofísica de las formaciones naturales y las antrópicas que se analizan en esta investigación.

En la última década ha cobrado cierta popularidad una metodología “integral” etiquetada bajo la denominación de huella ecológica (*Ecological Footprint, EF*), la cual estima los requerimientos de suelo ecológicamente productivos como un indicador global de sustentación de patrones de consumo vigentes por la población de una nación, región o localidad. Si el área total requerida para soportar los niveles de consumo actuales excede la disponibilidad de suelo del espacio económico considerado, se puede concluir que la población considerada satisface sus demandas mediante una apropiación de capacidad de sustentación ambiental externa o de otras regiones; esto es, su desempeño ambiental es con “déficit ecológico”.

Se trata de un enfoque que ha tenido aceptación en algunos círculos de ambientalistas, sin embargo, la metodología no está ligada directamente a variables de actividad económica disponibles en los sistemas tradicionales de contabilidad nacional. No obstante, es importante revisar el enfoque del EF porque recupera dos elementos centrales del debate: la noción de capacidad de carga o sustentación (CC, *carrying capacity*) y un criterio de sustentabilidad fuerte.

En la literatura actual se identifican al menos tres enfoques para estimar lo que podríamos denominar EF. El primero es el planteamiento original de Wackernagel y Rees (1996; 1992), estima el “consumo aparente” de diversos tipos de recursos, pero la metodología

---

<sup>101</sup> En el capítulo 4 se presentan los cálculos y la interpretación con todo detalle.

no permite distinguir mercancías usadas como insumos intermedios de aquellas de consumo final. Un marco analítico de I-O permite abordar este problema de estimación de los requerimientos indirectos y directos, y son las dos propuestas restantes: la EF a la Bicknell *et al.* (1998) y la EF con la modificación propuesta por Ferng (2001). Para este trabajo de aplicación al caso nacional y la RCM se recuperan los dos enfoques últimos.

### **Enfoque de la huella ecológica (EF) en un marco de I-O**

El concepto original de EF fue definido como la cantidad de suelo productivo requerido para sustentar un nivel de consumo de una población en un horizonte de tiempo dado. Un supuesto implícito de la metodología es que el bienestar económico de largo plazo depende del cumplimiento de un criterio de sustentabilidad fuerte, entendido como el mantenimiento de capital natural como fuente de recursos naturales productivos y como sumidero de desechos generados por la actividad humana. En consecuencia, si se logran objetivos de sustentabilidad, el consumo habrá de ser finalmente dependiente de la disponibilidad de los recursos renovables.

El EF está fuertemente relacionado con el concepto de capacidad de sustentación (CC) pues se entiende como la población de ciertas especies sustentadas indefinidamente en un hábitat específico sin daño permanente a los ecosistemas que la contiene. El EF es medido en hectáreas *per cápita*, mientras que la CC es generalmente expresada en unidades de individuos por hectárea, siendo uno el concepto inverso del otro. Además, a diferencia de la CC, el EF pretende capturar “todos” los impactos biofísicos de una comunidad sin importar donde se generen.

No obstante que se trata de un indicador estático, la virtud de abordarlo de una manera sistemática y con metodología estándar, como es la pretensión del enfoque que se utiliza en esta investigación, permite actualizaciones por cambio en las tecnologías y los patrones de consumo. Así mismo, posibilita elaborar comparaciones espaciales y temporales.

El procedimiento para estimar EF es muy directo y simple, pero laborioso, se emplea información sobre consumo y población para estimar el consumo anual promedio *per cápita* para varias categorías de consumo y el área apropiada por cada persona, se calcula por división del consumo *per cápita* entre la productividad promedio anual de cada tipo de bien de consumo.

Finalmente, la suma total de áreas de producción asociadas a ecosistemas es la apropiación humana para el consumo total vigente o EF de un periodo en particular. El objetivo es contabilizar el suelo apropiado en la producción y mantenimiento de la totalidad de bienes y servicios consumidos por una población asentada en un espacio específico<sup>102</sup>.

---

<sup>102</sup> La metodología original fue desarrollada en la university of British Columbia, por Wackernagel and Rees (1996), involucra la construcción de matriz de uso de suelo vs. tipos de consumo; las categorías de consumo incluyen a los propios a de alimentación, vivienda, transporte, bienes y servicios de consumo, mientras que las categorías de uso de suelo *energy-land* (energía incorporada en cualquier etapa de los procesos productivos), ambientes reconstruidos (degradados), jardines en general, cultivos, pastizales y bosques administrados. Debido a que el peso del componente asociado al consumo de energía es alto (+/- 50% del EF en países desarrollados), se trabajan escenarios alternativos: 1) consumo de etanol y metanol con productividades de 80 a 150 gJ/ha-año para esos energéticos; 2) área requerida para captura del CO<sub>2</sub> emitido por combustibles fósiles, dado que, en promedio, 1 ha de bosques captura el equivale al consumo de 100 gJ/año; 3) área requerida por la vía de restaurar capital natural a la misma velocidad de consumo de los combustibles fósiles, sus estimaciones sugieren que, en promedio, 1 ha de bosque es el equivalente a 80 gJ/año de energía biomásica recuperable.

Valores para estimaciones de las EF de países representativos son: Canadá, 4.27; Países Bajos, 3.32; Estados Unidos, 5.1 y la India, 0.38 (en ha per cápita). Cabe señalar que en los cálculos globales algunas poblaciones están actualmente en situación de “déficit ecológico”<sup>103</sup> y los análisis de sensibilidad respectivos muestran cómo la transición hacia otras tecnologías o estilos de vida podrían reducir los impactos regionales sobre el medio ambiente.

Sin embargo, el enfoque descansa en mezclas de fuentes de información de varios países y periodos de tiempo, por lo que sus resultados no pueden ser replicables en el espacio y el tiempo. Si una medida no es aplicada de manera consistente y regularmente actualizada, las variaciones en los resultados pueden ser atribuibles a variaciones en el método, más que al fenómeno que se pretende medir (Bartelmus, 1994). En consecuencia, se requiere un marco analítico que posibilite un seguimiento sistemático de los impactos en los niveles de bienestar.

El enfoque metodológico que recuperamos fue aplicado para estimar el EF de Nueva Zelanda y permite describir con detalle los componentes agrícola, forestal y de suelo degradado, incorporados en los bienes y servicios generados por la economía. En el contexto de una economía cerrada, el método de Bicknell *et al.* (1998) requiere esencialmente:

1. Estimar el coeficiente de intensidad de uso dividiendo el área total de suelo empleado directamente por cada sector (vector  $f$ ) entre el producto total (en unidades monetarias) de ese mismo sector:

$$\beta = f\hat{x}^{-1}$$

El coeficiente técnico-ambiental representa el requerimiento factorial por unidad de producto generado en cada sector.

2. Los requerimientos totales (directos e indirectos) de suelo, matriz  $H$ , pueden obtenerse entonces posmultiplicando la matriz inversa de Leontief por la matriz diagonal que contiene los coeficientes de suelo calculados en el paso anterior, vector  $\beta$ , mediante la expresión siguiente:

$$H = \beta(I - A)^{-1}$$

Los elementos de  $H$  representan los requerimientos de suelo por cada sector ante un aumento unitario en la demanda final por mercancías de cada uno de ellos. Los multiplicadores de suelo para el sector- $j$  son:

$$m_j = \frac{\sum_i H_{ij}}{f_j}$$

- 3 El monto de suelo requerido por cada sector para satisfacer el nivel actual de demanda final ( $s$ ) puede estimarse mediante la multiplicación de los requerimientos totales de suelo como insumos para cada industria (sumacolumna de las  $H_{ij}$ ) por el correspondiente componente del vector de demanda final:

$$s = [1 \quad \dots \quad 1]Hy = iHy$$

---

<sup>103</sup> Como Estados Unidos, que sus requerimientos equivalentes en suelo son casi dos veces el suelo productivo disponible propio y para Holanda es de alrededor de 20 veces (Wackernagel and Rees, 1996).

Con estos resultados de requerimientos totales de suelo divididos por una población total dada de un país o región se puede estimar su respectiva *EF per cápita*.

Una observación crítica hecha por J. Ferng (2001) a esta metodología permite trabajar también con la siguiente modificación. Hay un error en Bicknell *et al.* (1998) en la forma de calcular los multiplicadores sectoriales del suelo mediante  $m_j=iH$ , pues no toma en consideración las diferencias en bio-capacidad de las diversas formaciones naturales del suelo ocupadas por las actividades humanas.

Es claro que el multiplicador del suelo para un sector involucra efectos indirectos (encadenamientos) que aquí están representados dentro de los requerimientos de suelo sectoriales, pero se debe diferenciar entre el suelo directamente empleado por los sectores secundario y terciario propios de suelos degradados donde se asientan éstas actividades (formaciones antrópicas), del suelo requerido indirectamente que puede contener suelo agrícola, por ejemplo, el cual de ninguna manera es un suelo plenamente degradado, necesariamente.

En general, los requerimientos totales de suelo para las actividades secundarias y terciarias contienen suelo agrícola y también suelo con formaciones naturales conservadas. Es aquí donde se encuentra una concepción incompleta por imprecisa. Por ello, para estimar el suelo requerido para actividades productivas (huella ecológica), se sugiere adoptar la matriz  $H$  (*land multiplier composition matrix*) en lugar del vector multiplicador del suelo  $m_j$ . En consecuencia, las modificaciones al procedimiento anterior están dadas por las siguientes ecuaciones:

1. Se calcula el área del suelo productivo usado por el sector- $i$ , requerido directa e indirectamente por el sector- $j$  para la satisfacer una unidad de valor de consumo final, denotada mediante  $N$ :  $N = H \gamma$ .
2. La suma sobre  $j$  de la  $N$  permite obtener el área total del suelo productivo usado por sectores- $i$ , identificadas por  $q$ :  $q = Ni'$ .

Como seguramente será el caso para la RCM, valores pequeños de la *EF per cápita* pueden representar grandes presiones debido a la intensidad de las actividades productivas, en un contexto ambiental dominado por capacidades limitadas (o reducidas) de generación de una oferta suficiente de recursos naturales y absorción de desechos. Lo cual es por sí mismo un indicador de impacto o una medida gruesa de sustentabilidad.

Cabe aclarar que si al procedimiento anterior se le incorporan los impactos ambientales de tecnologías que generan subproductos indeseables, se incrementarán los requerimientos de suelo para mantener los usos actuales, pero se reduce la capacidad futura. El componente energía total incorporado en los bienes y servicios consumidos internamente (*energy-land*) puede calcularse combinando multiplicadores de energía de estudios en la materia (Bullard *et al.*, 1976; otros) con el vector de demanda final.

Posteriormente, esos totales se expresan en una base equivalente de suelo dividiéndolos por un escalar el cual representa la capacidad del suelo para generar energía de una manera sustentable o el equivalente para absorber  $CO_2$  producido por la combustión de combustibles fósiles<sup>104</sup>. El sector externo se introduce haciendo los descuentos equivalentes en

---

<sup>104</sup> Factores usados para análisis empírico oscilan alrededor de 100 gJ/ha (Wackernagel and Rees (1996).

suelo que provienen de los saldos netos del comercio exterior, ya sea para un país o región (subnacional).

Importa insistir que este enfoque no sólo es una asignación directa de suelo ocupado por actividades productivas, captura también todos los encadenamientos indirectos de los procesos intermedios que conducen a un producto final en equivalentes de suelo “incorporado”.

En general, los resultados deben ser ubicados como parte de una fase preeliminar y, por ende, deben ser indicativos para identificar problemas y hacia adónde dirigir los esfuerzos para detallar y precisar investigaciones posteriores. En este sentido, se deben tener presente que las fuentes principales para acotar el alcance de las estimaciones mediante este enfoque provienen de la metodología I-O y del cúmulo de información de origen diverso obtenido de manera directa o indirecta. Cabe mencionar que la EF nunca ha sido extendida hacia capital natural no soportado en suelo, como el caso que involucra la explotación de los ecosistemas marinos.

### ***El suelo como espacio de soporte de formaciones naturales y actividades humanas***

Otra vía muy sólida para construir modelos consistentes e integrados para evaluar cambios futuros sobre los usos del suelo requiere una combinación compleja de información económica, ambiental y demográfica. Marcos analíticos como el de Hubacek y Sun (2000; 1999) y Fischer y Sun (2001) son enfoques estructurales para estudiar los cambios en la economía y sociedad<sup>105</sup>, a escala regional y nacional, con la incorporación de flujos del comercio interregional e internacional. Son modelos híbridos I-O con vínculos biofísicos e incorporación de restricciones de oferta en los principales sectores que incorporan el suelo en su producción. Los aspectos biofísico-espaciales y de distribución demográfica del modelo se incorporan mediante un instrumento de evaluación regional agro-ecológica, desarrollado inicialmente por FAO (*Agro-Ecological Zone, AEZ*; basado en sistemas de información geográfica).

Esta variante establece un vínculo entre los cambios de usos del suelo por los sectores económicos con ocupaciones por tipo de suelo (formaciones agrícolas, pastizales, bosques y selvas). Se trata también de un enfoque híbrido como los utilizados para flujos físicos (agua y desechos) en las secciones anteriores. Como se emplea para predecir usos futuros del suelo, éste es igual a la suma del uso presente más el cambio en los usos del suelo ( $\Delta L$ ) impulsados por cambios en el producto ( $\Delta X$ ). Así podemos obtener la relación fundamental siguiente:

$$\Delta L = S \hat{C} \Delta X \quad \text{con} \quad L_{t+s} = L_t + \Delta L .$$

La matriz diagonal de coeficientes de requerimientos de suelo ( $\hat{C}$ ) se forma de un vector con elementos definidos como los cocientes del uso total de suelo en cada sector ( $L_j$ ) entre el producto sectorial total ( $x_j$ ), representa uso de suelo en hectáreas que genera una unidad de producto del sector-j, medido en millones de pesos. Los elementos de la diagonal son los coeficientes ( $C_j$ ) equivalentes a la inversa de las productividades sectoriales del suelo ( $p_j$ ), representan el producto generado en una unidad de suelo (ha). Mientras que la matriz de distribución del suelo ( $S$ ) establece la relación entre los usos del suelo de los diferentes sectores económicos y las categorías del suelo (formaciones naturales), cuyos elementos expresan la proporción de los primeros en los segundos.

---

<sup>105</sup> Dichos cambios se proponen como escenarios prospectivos de análisis con diversas combinaciones de efectos externos: cambios tecnológicos, distribución del ingreso, cambios en patrones de consumo y producción, urbanización y crecimiento demográfico.



En el estándar insumo-producto asumido se considera que existe una capacidad productiva excedente y oferta perfectamente elástica en todos los sectores, de tal manera que el impulso de la demanda es suficiente para aumentar el producto y el ingreso. Sin embargo, obvio es que algunos sectores no responden automáticamente y en proporción directa expandiendo o reduciendo sus requerimientos de suelo ante los cambios en el producto, porque están presentes restricciones en la disponibilidad del suelo, ya sea por zonificación regulada o de cualquier otro tipo como límite físicos, etc. (Hubacek y Sun, 2001; 2000). Por esto se incorporan restricciones en la oferta de bienes y servicios, para que la respuesta de la oferta se ajuste y no sobrestime sus efectos sobre la ocupación del suelo. Con ello se puede hacer una evaluación más realista de los efectos multiplicadores, pues incorpora la oferta de manera inelástica en algunos sectores<sup>106</sup>.

Debido a que la apropiación del suelo y la intensidad de uso de materiales por los sectores económicos está fuertemente correlacionada, los estudios de cambios de usos de suelo pueden emplear ‘multiplicadores físicos’, cambiando una base empírica MIOT por una PIOT, son más adecuados pues este tipo de sectores son determinantes y significativos para en la estimación de presiones ambientales como por ejemplo la apropiación del espacio. El cambio de una MIOT por una PIOT resulta en diferencias significativas en la estimación del suelo apropiado, sectorialmente (Hubacek y Giljum, 2003; Giljum y Hubacek, 2001).

### 3.4 Síntesis general del marco analítico y metodológico de la investigación

Los capítulos 2 y 3 bien pueden sintetizarse en una afirmación como la siguiente. En un contexto de interdependencia, hasta donde es posible elaborar una reflexión, el marco analítico sirve para describir y analizar lo que hemos llamado al inicio de este capítulo las “crónicas” parciales de la evolución física de un sistema conjunto SE-SA.

El capítulo 2 es un apoyo del capítulo 3 en tanto que aporta elementos teóricos, que están en desarrollo en la literatura actual, que sirven para la reflexión general de procesos de interdependencia sistémica, e ir consolidando posiciones relacionadas con un principio de precaución durante la concepción de políticas sustentables. Sin embargo, este marco analítico y sus postulados, no determinan la viabilidad de la propuesta metodológica (capítulo 3) en su aplicación al caso de estudio, y menos los resultados.

Del capítulo 2 extraemos una pieza muy importante de esta investigación. La posibilidad de observar, analizar y cuantificar aspectos parciales de la interdependencia SE-SA (monitoreo y vigilancia), para realimentar las estructuras de decisión de una sociedad, en particular, mediante información sintetizada en clases de indicadores-monitor. La posibilidad de derivar una clase en particular de estos indicadores es la que denominamos ahí las normas-umbral ambientales, núcleo básico del modelo de gestión ambiental adaptativo de control por normas<sup>107</sup>.

En la parte correspondiente al dominio de operación identificado para las políticas ambientales sustentables (ver 2.3.2, postulado P14), está implícita otra clase de indicadores-monitor, complementaria, que son indicadores de control (corto y mediano plazos), que son

---

<sup>106</sup> Como lo exponen Miller y Blair (1985) en su sección 9.3.

<sup>107</sup> Se argumentó que ante escenarios futuros difíciles una vía para estabilizar procesos críticos de interdependencia SE-SA es mediante políticas de control por normas-umbral ambientales.

también requeridos para la gestión ambiental. Con ellos podemos identificar y dar seguimiento a algunas tendencias estructurales de un SE como son sus procesos de (des)materialización (sección 3.2). Esta clase de indicadores-monitor construidos con flujos físicos miden procesos de desempeño ambiental del SE, desagregados sectorial y regionalmente; y corresponde justamente a la parte metodológica para su cuantificación; es la otra pieza del modelo de gestión ambiental, son indicadores-monitor que pueden ser normas también, pero *no* son normas ambientales de tipo umbral<sup>108</sup>.

Ambas clases de indicadores-monitor conforman el “paquete” o programa de normas ambientales regido por el principio de control expuesto como parte de la estructura básica del modelo de gestión ambiental adaptativo (sección 2.4.2). Aunque es importante recordar que, como se afirmó al final de la sección 2.3.2, no es posible traducir aún, de manera *confiable*, el proceso de formación de la norma-umbral ambiental en términos de información con flujos físicos, y que es parte de otra agenda de investigación. Por eso sostengo que se trata de “crónica” parcial sobre la evolución del sistema físico de sustentación de un sistema conjunto SE-SA. La metodología para cuantificar estos procesos, el cómo usar registros sobre flujos y acervos físicos, e interpretar sus variaciones en el tiempo, se documenta en este capítulo 3.

En consecuencia, con el marco analítico podemos entender mejor *cómo* ha sido el desempeño ambiental (pasado) de un SE, desagregado a escala regional y sectorial, y con el modelo de gestión ambiental propuesto, se evalúa y generan acciones de política, pero también es una estructura de decisión donde se puede diseñar alguna *regla institucional* que asocie, proporcionalmente, la atribución de responsabilidades ambientales sobre la base (“evidencia”) del vínculo directo entre actividades humanas de producción y consumo, y sus consecuencias (impactos) ambientales. Esto es lo que se requiere para resolver el problema de atribución ambiental (PA<sub>t</sub>) del capítulo 1 y su cuantificación se documenta en el capítulo 4.

Es muy importante la agregación regional de este trabajo empírico porque, es un primer esfuerzo por abordar y reconocer el hecho de que las presiones ambientales se distribuyen de manera desigual en el espacio y el tiempo. Por ende, la atribución de responsabilidades ambientales será también desigual, y esto es esencial para negociar el conflicto inter-espacial por la vía de precisar la atribución de responsabilidad ambiental entre: regiones, estados y sectores de actividad económica. Con la mejora continua del marco analítico y su base empírica asociada, gradualmente, se podrá disponer en el futuro de mejores capacidades institucionales para anticipar eventos, sobre todo cuando son estructurales y de naturaleza crítica.

---

<sup>108</sup> En las consideraciones para integrar el modelo de gestión ambiental adaptativo se postula (P15) cuando un SE podría operar bajo un programa de *control por normas-umbral ambientales* (sección 2.4.2).

## **APÉNDICE 3.1 Fundamentos del análisis de descomposición estructural (SDA)**

### **CONTENIDO**

- A1. Introducción
  - Descomposición de cambios en los coeficientes I-O
  - Descomposición de cambios en la demanda final
- A2. Análisis de descomposición: Fundamentos
- A3. Análisis de descomposición estructural: Metodología
  - Formas de descomposición estructural equivalentes

## APÉNDICE 3.1 Fundamentos del análisis de descomposición estructural (SDA)

### A1. Introducción

Una de las fortalezas del SDA es su capacidad para realizar un análisis detallado de cambios en la estructura económica; en particular, es posible distinguir efectos directos e indirectos de cambios en la tecnología y en la demanda final. Suponer una especificación básica para un modelo I-O dado por:

$$x = (I-A)^{-1} \cdot y = S \cdot y$$

su ecuación de descomposición es:

$$\Delta x = \Delta S \cdot y + S \cdot \Delta y$$

Dos efectos resultan de la descomposición, uno debido a los cambios en la estructura de insumos intermedios, efecto por coeficientes I-O (tecnológico); y el otro, un efecto atribuible a cambios en la demanda final ( $y$ ). Ambos pueden descomponerse aún más. El efecto por coeficientes I-O (tecnológicos) no refleja los cambios en todos los inputs requeridos para la producción, pues los inputs primarios están incluidos indirectamente, la suma de los coeficientes de inputs intermedios y primarios es igual a 1 (Hoskstra y van den Bergh, 2002).

### Descomposición de cambios en los coeficientes I-O

Para estimar el primer tipo de efecto, cambios en los coeficientes I-O intermedios que influyen sobre los cambios en la matriz de Leontief ( $L$ ), puede emplearse una descomposición aditiva (otra opción es la multiplicativa):  $\Delta S = (I-\Delta A)^{-1}$ .

Cuando se requiere por el tipo de análisis niveles de descomposición más detallados, donde los cambios en los coeficientes de  $A$  sean atribuibles a cambios en la estructura de insumos, se emplean usualmente dos técnicas:

1. *splitting* la matriz  $A$  en sus coeficientes individuales:  $\Delta A = \sum_i \sum_j \Delta A_{ij}$
2. basada en un enfoque RAS:  $\Delta A = \Delta r \cdot A^{t-1} \cdot s + r \cdot A^{t-1} \cdot \Delta s + \xi$

Los estudios que usan la primera técnica usualmente agrupan los coeficientes conforme a las necesidades de una descomposición detallada de la tecnología. Se considera que los cambios tecnológicos son inducidos por la sustitución de insumos técnicos, como desplazamientos entre insumos o cambios en productividad (eficiencia de uso de insumos). Estos efectos pueden cuantificarse al nivel de los agregados de capital, trabajo, energía y materiales ---modelos con estructura KLEM o más desagregado por tipo de fuente energética (Rose y Chen, 1991 --ver en Hoekstra, 2002).

La segunda técnica de descomposición con base en el procedimiento RAS, que identifica cambios promedio en las filas y columnas de la matriz de coeficientes, pueden estimarse a niveles sectorial efectos de sustitución (desplazamientos promedio hacia un insumo y efectos de intensidad de uso (eficiencia) de insumos intermedios; primero y segundo términos de la ecuación respectiva; el tercer término ( $\xi$ ) mide los efectos de cambios en celdas específicas no captados por los dos efectos anteriores.

## Descomposición de cambios en la demanda final

Sea  $D$  una matriz de demanda final de dimensión  $(n \times p)$  en la tabla I-O;  $n$ -sectores (o productos) por  $p$  categorías de demanda (consumo privado y público, inversión, y exportaciones). Si denotamos a  $d$  la fracción de cada categoría de demanda final respecto de su total ( $Y$ ), entonces se puede proponer una descomposición como:

$$\Delta y = \Delta D \cdot d \cdot Y + D \cdot \Delta d \cdot Y + D \cdot d \cdot \Delta Y$$

Los tres efectos determinantes que se logran con esta relación son, respectivamente: i) efecto de mezcla de producto (desplazamientos en la mezcla de los  $n$  productos consumidos), ii) efecto por categoría (desplazamientos entre las  $p$  categorías de demanda final, y iii) efecto del tamaño (escala) de la demanda final.

Las variantes en las especificaciones dependen de los objetivos del análisis. Por ejemplo, algunas veces los últimos dos términos de la ecuación anterior se agregan en un solo efecto de escala o nivel. Cuando se dispone de información suficiente permitiría estimar los impactos sobre indicadores ambientales debidos a cambios en los patrones de consumo doméstico o de comercio<sup>109</sup>.

## A2. Análisis de descomposición: Fundamentos<sup>110</sup>

El análisis de descomposición contiene una variedad de métodos de estática comparativa. La característica principal de estos métodos es que ayudan a entender los efectos determinantes que influyen en el cambio de una variable. Una de las técnicas más sólidas y utilizadas en estudios es cuando el análisis de descomposición se realiza en el marco de modelos I-O y se denomina *SDA*. Otra técnica de descomposición muy importante también es el análisis de números índice (*index number analysis, INA*), el cual emplea datos a nivel nacional o sectorial; *INA* ha sido más empleada en estudios ambiental que el *SDA* porque requiere menos datos y permite la descomposición de datos anuales (Ang y Zhang, 2000). Sin embargo, *SDA* es capaz de alcanzar una descomposición más detallada de los cambios en la tecnología y en la demanda.

Suponer una relación funcional  $y(t) = f(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$ , y para derivar los efectos sobre la variable  $y$  de los cambios en los determinantes  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , se usa la diferenciación total:

$$dy = \frac{\partial f(\cdot)}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial f(\cdot)}{\partial x_2} dx_2 + \dots + \frac{\partial f(\cdot)}{\partial x_n} dx_n$$

El cálculo del cambio total en  $y$  durante el periodo  $(t_0, t_1)$  se hace mediante:

$$\Delta y = \int_{t_0}^{t_1} \left( \frac{dy}{dt} \right) dt = \int_{t_0}^{t_1} \left[ \frac{\partial f(\cdot)}{\partial x_1} \cdot \frac{dx_1}{dt} \right] dt + \int_{t_0}^{t_1} \left[ \frac{\partial f(\cdot)}{\partial x_2} \cdot \frac{dx_2}{dt} \right] dt + \dots + \int_{t_0}^{t_1} \left[ \frac{\partial f(\cdot)}{\partial x_n} \cdot \frac{dx_n}{dt} \right] dt$$

La conversión de tiempo continuo a discreto se hace aproximando las diferenciales por los cambios finitos  $\Delta y, \Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ . Por ejemplo, la separación de efectos o descomposición

<sup>109</sup> No es el caso para nuestra investigación empírica en México. Aunque para el agregado nacional se dispone de tal información, a nivel de las entidades federativas la desagregación detallada de la demanda final es difícil conseguir.

<sup>110</sup> Para exponer el planteamiento general del *SDA* vamos a realizar cambios de variables las cuales se van especificando conforme se incorporan a la exposición de esta parte.

propiamente se ilustra así: Si  $y=x_1 x_2$  su relación descomposición es:

$$\Delta y = x_2 \Delta x_1 + x_1 \Delta x_2 .$$

Mientras que, cuando  $y=x_1/x_2$  la relación respectiva será entonces:

$$\Delta y = \frac{1}{x_2} \Delta x_1 - \frac{x_1}{(x_2)^2} \Delta x_2 .$$

La derivación anterior es una de las cuatro formas posibles de descomposición de  $y$ , ya sea que  $y$  es un producto o un cociente, una forma aditiva y una multiplicativa para cambios absolutos y las dos formas de cambios relativos asociadas a las dos primeras. La especificación de la relación de descomposición depende de los objetivos del análisis, pero cuando hay en los datos valores iguales a cero ---como en tablas I-O--- es conveniente expresar los cambios en los determinantes en términos de cambios absolutos (Hoekstra y Bergh, 2002); forma de descomposición aditiva del SDA más frecuentemente utilizada en la literatura y empleada también en este trabajo<sup>111</sup>.

Para la forma  $y=x_1 x_2$ , con descomposición aditiva  $\Delta y = x_2 \Delta x_1 + x_1 \Delta x_2$ , la representación gráfica siguiente (Figura IV-1) refuerza la comprensión de este procedimiento de cálculo del cambio total en  $y$  debido a cambios en los determinantes  $x_1, x_2$ ; las áreas bajo la función continua (no-lineal) medidas sobre los ejes  $x_1$  y  $x_2$ , se corresponden con las contribuciones al cambio total de cada uno de los determinantes.

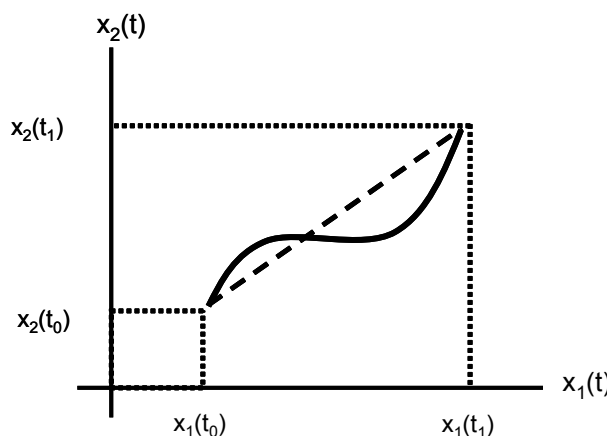


Figura IV-1. Análisis de descomposición estructural

$$\text{Contribución del cambio en } x_2 = \text{Área medida sobre eje } x_1 = \int_{t_0}^{t_1} \left[ \frac{\partial f(\cdot)}{\partial x_1} \cdot \frac{dx_1}{dt} \right] dt ; y$$

$$\text{Contribución del cambio en } x_2 = \text{Área medida sobre eje } x_2 = \int_{t_0}^{t_1} \left[ \frac{\partial f(\cdot)}{\partial x_2} \cdot \frac{dx_2}{dt} \right] dt .$$

### A3. Análisis de descomposición estructural<sup>112</sup>: Metodología

La técnica de SDA es un instrumento para separar el crecimiento total en cambios en las variables de las partes constituyentes, una revisión detallada véase en Rose y Casler (1996). En el marco del I-O, el análisis de cambios en la estructura productiva tiene una larga tradición

<sup>111</sup> Los estudios INA son más diverso y usan todos los tipos de descomposición.

<sup>112</sup> Referencia principal: Dietzenbacher, E. & Los, B. (1998) Structural decomposition techniques: sense and sensitivity, *Economic Systems Research*, 10, pp. 307- 323.

(Chenery et al, 1962; Carter, 1970<sup>113</sup>; Leontief y Ford, 1972; Stäglin y Wessels, 1972; y contribuciones más recientes Wolff (1985); Feldman et al. 1987; Skolka, 1989). Se define el SDA como un método para identificar y cuantificar las fuentes (causas) principales del cambio en una gran variedad de variables tales como el producto, valor agregado, requerimientos de trabajo, volumen de importaciones, etc mediante un ejercicio de estática comparada sobre un conjuntos de parámetros clave.

La metodología de SDA es similar a la “growth accounting”<sup>114</sup>, donde el objetivo es descomponer la tasa de crecimiento del producto agregado en las contribuciones provenientes del crecimiento de los insumos y de la tecnología (Solow, 1957; Kendrick, 1961; Denison, 1974, 1985). En los 80’s se desarrollan técnicas que combinan el SDA con “growth accounting” (Wolf, 1985, 1994), mejorando los instrumentos para el análisis del cambio estructural de una economía.

Un problema central del SDA es la descomposición de una ecuación básica no tiene una forma única. En el caso más simple de dos determinantes el problema se resuelve (ad hoc) usando el promedio de las dos formas posibles. Sin embargo, en el caso general de  $n$  determinantes, con  $n!$  formas equivalentes<sup>115</sup> posibles, ya no existe una solución ad hoc tan sencilla –entendiendo por “solución” una descomposición exacta (o cuasi-exacta). Debido a que el problema sigue resolviéndose en la práctica mediante soluciones ad hoc, las dos más usadas en la literatura son: 1) promedio de las dos formas polares y 2) “pesos en los puntos medios”.

En un estudio de detalle Dietzenbacher y Los (1998) encuentran bases empíricas para proponer como una muy buena solución *ad hoc* tomar el promedio del conjunto completo de formas descompuestas. Para un ejercicio con 4 factores determinantes, Dietzenbacher y Los (1998) muestran que la aproximación anterior es casi exacta (error despreciable como para sostener que la descomposición es exacta)<sup>116</sup>. Pero importante señalar que comparando las dos formas anteriores (1 y 2) los resultados mostraron valores muy cercanos, aún a nivel sectorial.

Si esto es así, entonces es más cómodo realizar la estimación mediante el promedio de las dos formas polares (forma 2), como lo hace Mark de Haan (2001) para emisión de contaminantes, metodología que se recupera para nuestra investigación.

### Formas de descomposición estructural equivalentes

De acuerdo a la discusión anterior, para el caso más simple de una relación como  $y = x \cdot z$  (ecuación fundamental, siendo las variables matrices, vectores o escalares), un cambio entre dos momentos en el tiempo,  $\Delta y$ , puede ser descompuesta así:

$$\Delta y = y(1) - y(0) = x(1)z(1) - x(0)z(0), \text{ para la cual hay dos posibilidades:}$$

1. Efectos aislados o separados

---

<sup>113</sup> Esta es la obra pionera de A. Carter, *Structural change in the American Economy*, ha dado lugar a múltiples variantes que hoy día suelen agruparse como Análisis de Descomposición Estructural.

<sup>114</sup> También similar al análisis shift-share.

<sup>115</sup> En el SDA las múltiples formas computables son diferentes, pero *equivalentes* en el sentido de que no hay fundamentos teóricos que permitan preferir una forma sobre las otras.

<sup>116</sup> Dietzenbacher y Los (1998) sugieren usar la forma 1, acompañando siempre a todo análisis empírico de este tipo tanto los efectos promedio como también los rangos (o desviaciones estándar).

Implica cambiar un factor y mantener sin variación los restantes. Para estimar los cambios en influenciados por los cambios en  $x$  mientras  $z$  se asume constante y al revés ( $x$  constante y cambia  $z$ ). Dado que  $\Delta x = x(1) - x(0)$ , y  $\Delta z = z(1) - z(0)$ , podemos sustituir separadamente en la ecuación anterior y obtener las dos formas posibles:

$$\Delta y = (\Delta x + x(0)) z(1) - x(0) (z(1) - \Delta z) = \Delta x z(1) + x(0) \Delta z$$

ó

$$\Delta y = x(1) (\Delta z + z(0)) - (x(1) - \Delta x) z(0) = \Delta x z(0) + x(1) \Delta z$$

No hay “efectos combinados” por el cambio simultáneo (interacción) de  $x$  y  $z$ ; se desprecian efectos descritos por el término  $\Delta x(\Delta z)$ .

## 2) Efectos combinados (o variación simultánea)

Es fácil observar que los coeficientes de las variables que cambian son evaluados de manera mixta en  $t=0$  y  $t=1$ . También existe la posibilidad de evaluar estos coeficientes en el tiempo inicial (como *Índice de Laspeyres*) o en el tiempo final (como *Índice de Paasche*), pero en ambos casos la desventaja es que se presenta un término “residual” representando realmente los efectos mixtos o combinados:

$$\Delta y = (\Delta x + x(0)) (\Delta z + z(0)) - x(0) z(0) = \Delta x z(0) + x(0) \Delta z + \Delta x(\Delta z).$$

ó

$$\Delta y = x(1) z(1) - (x(1) - \Delta x) (z(1) - \Delta z) = \Delta x z(1) + x(1) \Delta z - \Delta x(\Delta z).$$

Si se elige un enfoque con término “residual”, uno tiene que decidir como aplicarlo, pues se tienen 3 posibilidades para él: i) es tan pequeño que puede despreciarse, lo cual significa que la descomposición no es exacta, sino sólo es una buena aproximación; frecuentemente este es el caso cuando se analizan periodos cortos de tiempo y los factores no están sujetos a cambios repentinos (súbitos). ii) interesa y se analiza en conjunción con los efectos aislados. iii) se distribuye entre los diferentes efectos aislados (que es la primera forma).

Cuando se dispone de series de tiempo más largas uno puede decidir cuando realizar un análisis de periodo (entre  $t_0$  y  $t_1$ ) o realizar un análisis anual y sumar los efectos anuales.

Note que para el caso de dos factores disponemos de dos formas equivalentes de descomposición, es fácil mostrar que el promedio de ambas expresiones es una especie de “solución común” porque proporciona una única forma descompuesta,  $\Delta y_u$ , en tanto que la descomposición es exacta (las contribuciones del lado derecho suman  $\Delta y_u$ ) mediante:

$$\Delta y_u = \frac{1}{2} \{ \Delta x z(1) + x(0) \Delta z \} + \frac{1}{2} \{ \Delta x z(0) + x(1) \Delta z \},$$

haciendo el álgebra respectiva y agrupando términos tenemos:

$$\Delta y_u = \Delta x \{ \frac{1}{2} z(1) + \frac{1}{2} z(0) \} + \{ \frac{1}{2} x(0) + \frac{1}{2} x(1) \} \Delta z,$$

Por tanto:  $\Delta y_u = \Delta x z(\frac{1}{2}) + x(\frac{1}{2}) \Delta z$ ; donde  $z(\frac{1}{2}) = \frac{1}{2} z(0) + \frac{1}{2} z(1)$  y de manera similar  $x(\frac{1}{2}) = \frac{1}{2} x(0) + \frac{1}{2} x(1)$ .

En el caso general tenemos:



$$y = x_1 x_2 \cdots x_n$$

Se puede extender el caso de dos efectos aislados bajo el siguiente orden para el caso de n-efectos: Comenzar por el tiempo final produce:

$$\Delta y = (\Delta x_1)x_2(1)x_3(1)\cdots x_{n-1}(1)x_n(1) + x_1(0)(\Delta x_2)x_3(1)\cdots x_{n-1}(1)x_n(1) + x_1(0)x_2(0)\Delta x_3\cdots x_{n-1}(1)x_n(1) + \dots + x_1(0)x_2(0)x_3(0)\cdots(\Delta x_{n-1})x_n(1) + \dots + x_1(0)x_2(0)x_3(0)\cdots x_{n-1}(0)\Delta x_n$$

Comenzar por el tiempo inicial produce:

$$\Delta y = (\Delta x_1)x_2(0)x_3(0)\cdots x_{n-1}(0)x_n(0) + x_1(1)(\Delta x_2)x_3(0)\cdots x_{n-1}(0)x_n(0) + x_1(1)x_2(1)\Delta x_3\cdots x_{n-1}(0)x_n(0) + \dots + x_1(1)x_2(1)x_3(1)\cdots(\Delta x_{n-1})x_n(0) + \dots + x_1(1)x_2(1)x_3(1)\cdots x_{n-1}(1)\Delta x_n$$

No hay razón para empezar por  $t=1$  ó  $t=0$ , como tampoco la hay para preferir alguna de las posibilidades que están en cada uno de los dos grupos anteriores, por eso son todas equivalentes (Dietzenbacher y Los, 1998). Importa presentar así estas dos formas extremas o formas polares de descomposición porque una vía de solución *ad hoc* es tomar el promedio de las formas polares o usar los “pesos en puntos medios” (recuerde que en el caso de dos factores, este enfoque produce los mismos resultados); la primera puede producir descomposiciones exactas la segunda no, solo eso, nunca una solución al problema.

**“Interpretación y análisis general de resultados  
del caso de estudio”**

**Contenido**

---

- 4.1 Introducción
  - 4.2 Validación del modelo de SDA con flujos físicos (“especializado”)
  - 4.3 Interpretación del SDA con flujos físicos: Evaluación del desempeño ambiental de economías regionales (RCM y agregado nacional)
  - 4.4 Cálculo de la *huella ecológica (EF)* o intensidad de uso (presión) del factor ambiental suelo
  - 4.5 Conclusiones generales
- Apéndice estadístico (en CD de soporte)

## Capítulo 4. Interpretación y análisis general de resultados del caso de estudio

### 4.1 Introducción<sup>117</sup>

Fundamentalmente en este capítulo se presentan los cálculos de la instrumentación metodológica del capítulo 3 y su interpretación para el diseño de política ambiental sustentable en México. Es decir, se ha construido un marco analítico descriptivo e interpretativo con el cual *decodificar* las “huellas” físicas que deja la actividad humana, nacional y regional; con ello, es posible elaborar lo que se llamó en capítulo 3 la “crónica” parcial sobre la evolución del sistema físico de sustentación de un SE.

Se trata de un instrumento analítico suficiente para confirmar tendencias regresivas del desempeño ambiental de estructuras económicas regionales en México y, de manera acentuada de su región centro. La importancia de sus implicaciones de política pública radica en que, en el marco del modelo de gestión ambiental adaptativo esbozado al capítulo final del capítulo 2, es posible empezar a asociar causas generadoras de un conjunto de impactos ambientales (potenciales), regionalmente localizados.

El análisis de los resultados no puede ser interpretado (decodificado) sin un estudio previo sobre la descripción y diagnóstico general del cambio, a escala regional, en tres vertientes fundamentales: cambio económico, ambiental e institucional<sup>118</sup>. En este contexto regional observado deben ser interpretadas las tendencias del desempeño ambiental cuantificadas, sirve para dimensionar el carácter y alcance de los hallazgos obtenidos en esta investigación.

En consecuencia, basta recordar que la RCM ocupa un espacio de transición crítico en términos de su localización geográfica. Representa un espacio-frontera (virtual) entre las dos grandes bioregiones de México (neártica y neotropical), a partir del cual es posible identificar también dos grandes mesoregiones: Centro-Sur y Centro-Norte, cuyas características estructurales del patrón de desarrollo regional son abiertamente contrastantes. Aunque la RCM dispone de la mayor dotación de capital humano del país, ya no es dominante ni es tan fuerte su dinámica económica en comparación con la observada para la región Centro-Norte. Por sus dotaciones de capital natural, la RCM no posee los acervos naturales del Sur y su capital natural realmente disponible se degrada a tasas significativas<sup>119</sup>. En síntesis, la caracterización general del patrón de desarrollo regional en México es: muy desigual (polarizado), históricamente insustentable y paradójico en los ámbitos social, económico y ambiental.

El orden de exposición de los resultados está relacionado con: i) lo que llamamos proceso metodológico de validación del modelo SDA y ii) la identificación y cuantificación de tendencias de cambio en el desempeño ambiental de economías regionales, desagregadas hasta el nivel sectorial.

---

<sup>117</sup> **NOTA IMPORTANTE:** Si la tabla o figura citada no está en el cuerpo principal del texto, remítase de inmediato al Apéndice Estadístico de este capítulo, soportado en el CD pegado en las portadas de este informe de investigación.

<sup>118</sup> Por esta razón se recomienda la lectura del Anexo 0 antes de entrar en la materia de este capítulo.

<sup>119</sup> Así quedó documentado el patrón de desarrollo regional de más largo plazo en México. Crítico desde el punto de vista ambiental porque su alto potencial de desarrollo económico está en riesgo simplemente por problemas de abasto futuro de un solo recurso ambiental como el agua (véase Tabla 0.2.1-2 en Anexo 0).

La secuencia se considera justificada en razón de que la base empírica usada para el modelo es poco confiable y se enfatiza en la validación frente a un conjunto básico de tendencias estructurales de la realidad económico-regional abordada (como “prueba” de consistencia mínima). Se trata de tendencias que seguramente serían confirmadas de disponer de una base empírica para el modelo de SDA mucho más confiable (ver Anexo IV). Este aspecto restringe el alcance y el nivel de confiabilidad de algunas conclusiones, sobre todo cuando se ha vislumbrado como una aplicación principal la *atribución ‘cuantitativa’ de responsabilidad ambiental a las actividades humanas de producción y consumo*. Sin embargo, se considera que la propuesta general de esta investigación es *viable y generalizable* al resto de las regiones en México<sup>120</sup>.

Se considera pertinente realizar una relativización de los procesos de cambio cuantificados comparando contra un agregado promedio que es, justamente, el espacio económico de referencia o Nacional; representa un promedio del conjunto de espacios regionales que lo conforman, independiente del nivel de desagregación, ya sea en cinco mesorregiones (RCM es una) o una docena de regiones de menor tamaño<sup>121</sup>.

Hasta aquí se cubre una primera parte de los resultados y su interpretación, que en suma contiene a la: validación del modelo y cuantificación de tendencias estructurales (sección 4.2 y 4.3). Se culmina con una segunda parte conformada por los resultados que expresan la incorporación de la escala espacial mediante el uso del concepto de “*huella ecológica*” (*EF-modificada*); con datos provenientes de cambios de usos del suelo en la RCM y el agregado nacional<sup>122</sup> (sección 4.4). Una última sección (4.5), sintetiza las conclusiones generales y establece nexos con las tendencias y los ámbitos de atención estratégicos para un desarrollo regional sustentable en México (Sección 5.2).

## 4.2 Validación del modelo de SDA con flujos físicos (“espacializado”)

La información fuente y su procesamiento están documentados en el Anexo V y quedan resumidos en los vectores de intensidades de uso de factores ambientales de las economías nacional y regional (Tablas 4.2-1A y 1B). La información se trabajó desagregada a un total de 17 sectores económicos, que son las nueve grandes divisiones (GD), con la GD-3 (industria manufacturera) desagregada a la vez en sus nueve divisiones. El horizonte temporal del análisis comprende el periodo cuyos puntos terminales son los años de 1985 y 1996.

Los vectores ambientales construidos para esta investigación están en diferentes unidades de medida, concretamente: 1) ocupación del suelo por sectores (en centenas de km<sup>2</sup>), 2) usos de agua-insumo (en decenas de millones de m<sup>3</sup>/año), 3) generación de aguas residuales (en decenas de millones de m<sup>3</sup>/año), 4) generación de residuos sólidos (en decenas de miles ton/año) y 5) generación de residuos peligrosos (en miles de ton/año). Cabe señalar que, desafortunadamente, no se dispone de información sobre flujos económicos y físicos intra

<sup>120</sup> Cabe mencionar que no se encontró en la literatura estudios similares para México, que pudieran servir de referente (*Benchmark*) contra el cual comparar nuestros resultados. Ante ello, sólo quedó destacar aspectos sobre una consistencia básica contra los procesos realmente “observados”.

<sup>121</sup> La metodología se propone de aplicación general, para el conjunto de regiones (o estados) del territorio nacional, aunque por los múltiples problemas de insuficiente y deficiente información disponible sólo se trabaja un comparativo entre una región (RCM) y la estructura económica nacional como espacio promedio de referencia.

<sup>122</sup> Para mayores detalles véase el diagnóstico regional en su parte final (Anexo V).

e interregionales como para desagregar los efectos del comercio exterior de cada región.

**Tabla 4.2-1A. Nacional y RCM: Intensidades de uso o generación de factores ambientales (en diferentes unidades, 1985)**

	Agregado Nacional: Factores Ambientales por sectores de actividad económica					Agregado Regional: Factores Ambientales por sectores de actividad económica				
	F1 Suelo (en centenas de Km <sup>2</sup> )	F2 Agua-insumo (en 10(+7) m <sup>3</sup> /año)	F3 Aguas residuales (en 10(+7) m <sup>3</sup> /año)	F4 Residuos sólidos (10+4) ton/año)	F5 Residuos peligrosos (en 10(+3) ton/año)	F1 Suelo (en centenas de Km <sup>2</sup> )	F2 Agua-insumo (en 10(+7) m <sup>3</sup> /año)	F3 Aguas residuales (en 10(+7) m <sup>3</sup> /año)	F4 Residuos sólidos (10+4) ton/año)	F5 Residuos peligrosos (en 10(+3) ton/año)
G.D. 1	11,900.7	1,332.6	2.5	-	19.6	852.5	142.3	0.3	0.0	1.0
G.D. 2	67.0	8.0	16.7	-	209.6	0.7	0.3	0.5	0.0	0.8
Div I	0.7	83.4	175.0	83.3	139.9	0.2	35.5	66.9	30.0	49.8
Div II	0.7	5.6	11.7	13.2	298.8	0.2	3.5	6.5	6.6	113.3
Div III	0.7	10.3	21.7	3.2	147.8	0.2	4.1	7.8	1.0	62.0
Div IV	0.7	9.2	19.4	6.4	-	0.2	6.2	11.8	3.5	0.0
Div V	0.7	17.1	35.8	19.0	1,217.4	0.2	11.6	21.9	10.4	491.2
Div VI	0.7	19.6	41.2	6.0	126.7	0.2	10.1	19.1	2.4	58.1
Div VII	0.7	5.5	11.5	5.1	281.6	0.2	2.5	4.6	1.8	136.7
Div VIII	0.7	1.2	2.5	17.7	271.0	0.2	0.8	1.6	9.8	123.6
Div IX	0.7	7.4	15.5	7.8	189.9	0.2	5.6	10.6	5.0	106.7
G.D. 4	1.5	19.3	40.5	14.5	0.6	0.4	9.0	17.0	5.2	0.2
G.D. 5	1.5	-	-	6.0	0.0	0.4	0.0	0.0	1.5	0.0
G.D. 6	3.0	1.0	2.2	370.8	55.9	0.7	0.4	0.7	121.5	18.0
G.D. 7	6.1	0.3	0.7	42.7	0.7	1.5	0.2	0.3	16.8	0.3
G.D. 8	6.1	0.4	0.9	32.4	0.1	1.5	0.2	0.4	12.3	0.0
G.D. 9	6.1	1.1	2.3	57.9	17.6	1.5	0.6	1.1	23.2	8.5
Usos por demanda final	30.3	354.7	402.8	2,057.8	118.7	7.4	132.7	128.6	753.3	48.7
Usos por demanda total	12,028.3	1,876.7	802.8	2,743.8	3,096.0	867.9	365.7	299.7	1004.5	1219.0

F1: Ocupación del suelo por sectores (en centenas de Km<sup>2</sup>)  
 F2: Usos de agua-insumo (en decenas de millones de m<sup>3</sup>/año)  
 F3: Generación de aguas residuales (en decenas de millones de m<sup>3</sup>/año)  
 F4: Generación de residuos sólidos (en decenas de Miles ton/año)  
 F5: Generación de residuos peligrosos (en miles de ton/año)

**Tabla 4.2-1B. Nacional y RCM: Intensidades de uso o generación de factores ambientales (en diferentes unidades, 1996)**

	Agregado Nacional: Factores Ambientales por sectores de actividad económica					Agregado Regional: Factores Ambientales por sectores de actividad económica				
	F1 Suelo (en centenas de Km <sup>2</sup> )	F2 Agua-insumo (en 10(+7) m <sup>3</sup> /año)	F3 Aguas residuales (en 10(+7) m <sup>3</sup> /año)	F4 Residuos sólidos (10+4) ton/año)	F5 Residuos peligrosos (en 10(+3) ton/año)	F1 Suelo (en centenas de Km <sup>2</sup> )	F2 Agua-insumo (en 10(+7) m <sup>3</sup> /año)	F3 Aguas residuales (en 10(+7) m <sup>3</sup> /año)	F4 Residuos sólidos (10+4) ton/año)	F5 Residuos peligrosos (en 10(+3) ton/año)
G.D. 1	12,499.3	1,809.7	2.1	-	16.6	834.7	252.8	0.3	0.0	1.0
G.D. 2	64.7	8.7	18.3	-	229.5	0.6	0.6	1.2	0.0	1.8
Div I	1.3	98.8	207.2	98.7	165.7	0.3	41.9	79.0	35.5	58.8
Div II	1.3	5.1	10.8	12.1	274.8	0.3	3.0	5.6	5.7	97.5
Div III	1.3	9.3	19.6	2.9	133.4	0.3	3.2	6.0	0.8	47.3
Div IV	1.3	8.5	17.9	5.9	-	0.3	5.6	10.5	3.1	0.0
Div V	1.3	18.2	38.3	20.3	1,301.3	0.3	10.9	20.6	9.8	461.7
Div VI	1.3	23.2	48.6	7.0	149.5	0.3	9.3	17.4	2.2	53.1
Div VII	1.3	5.9	12.4	5.5	303.1	0.3	1.9	3.6	1.4	107.5
Div VIII	1.3	1.8	3.8	27.2	416.3	0.3	1.0	1.9	11.7	147.7
Div IX	1.3	9.6	20.1	10.2	246.5	0.3	4.6	8.7	4.1	87.5
G.D. 4	2.9	20.1	42.1	15.0	0.6	0.6	8.9	16.8	5.1	0.2
G.D. 5	2.9	-	-	8.8	0.1	0.6	0.0	0.0	1.6	0.0
G.D. 6	5.8	1.1	2.2	384.7	58.0	1.2	0.5	0.9	141.7	20.9
G.D. 7	11.7	0.6	1.2	73.8	1.2	2.3	0.3	0.5	27.0	0.5
G.D. 8	11.7	0.8	1.7	57.7	0.1	2.3	0.4	0.7	21.0	0.1
G.D. 9	11.7	1.3	2.7	69.2	21.0	2.3	0.7	1.3	27.3	10.0
Usos por demanda final	58.3	562.9	521.8	2,396.9	148.2	11.5	198.3	167.8	893.8	59.3
Usos por demanda total	12,680.6	2,585.6	970.8	3,195.9	3,465.9	858.3	543.8	342.6	1191.7	1154.9

### 4.2.1 Contrastación empírica de la hipótesis principal

La perspectiva metodológica queda aterrizada para la verificación de la hipótesis principal empleando el SDA y con la solución propuesta por Dietzenbacher y Los (1998), que permite superar el problema de no-unicidad. El criterio básico en que descansa la técnica es un promedio de las dos formas polares (Sección 4.3).

Se propuso una descomposición del efecto total para cada factor ambiental en cuatro componentes: 1) efectos de cambios en la generación de desechos por unidad de valor monetario del producto que los induce,  $\Delta E$ ; 2) efectos por cambios en la estructura de la producción,  $\Delta S$ ; 3) efectos por cambios en la composición del gasto en demanda final,  $\Delta y_s$  (estilo de vida); y 4) efectos por cambios en el volumen de la demanda final,  $\Delta y_e$ .

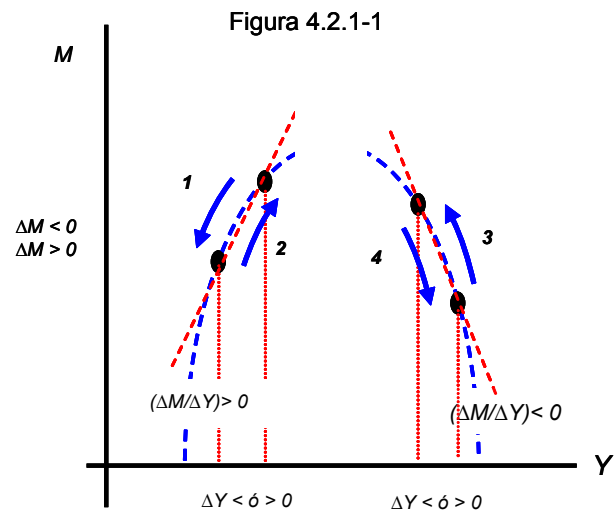
Brevemente, se recupera del capítulo 3 las posibilidades esperadas de un SDA y se resumen en la tabla 4.2.1-1, en términos de las dos variables relevantes y representativas de estructura del SE:  $(Y, m)$ ; con ellas representamos posibilidades de desplazamientos del sistema dentro del periodo estudiado y se visualizan gráficamente en la figura 4.2.1-1.

Mediante estos cocientes estructurales  $(\Delta m/\Delta y)$  y  $(y/m)_t$ , evaluado en  $t_0$  ó  $t_1$ , se construye una forma de comparar desempeños ambientales entre espacios económicos, hasta el nivel sectorial, mediante el indicador  $'(y/m)_t(\Delta m/\Delta y)'$ , y se pueden identificar regímenes de desempeño ambiental del SE, a uno y otro lado del *locus de transición* en el espacio  $(Y, m)$ ; ver sección 2.3.3, en donde se pueden localizar también puntos equivalentes, a uno u otro lado del punto de quiebre de la curva U-invertida presupuesta, en el espacio  $(Y, M)$ . Para la RCM y el agregado nacional se encontraron sólo procesos o movimientos del sistema del tipo 2 y 4: materialización y desmaterialización respectivamente (Figura 4.2.1-1).

Tabla 4.2.1-1. Posibilidades esperadas de movimientos de 'estado' o tipos de procesos, en términos de parámetros relevantes del modelo de SDA

Movimientos de estado o tipos de procesos (ver figura 4.2-1)	$\Delta m$	$\Delta y$	$(\Delta m/\Delta y)$	$(y/m)_t (\Delta m/\Delta y)$
Proceso tipo 1	+	+	+	> -1; Materializa
Proceso tipo 2	-	-	+	> -1; Materializa
Proceso tipo 3	-	+	-	Entre (-1y0); Mat. ligera ó < -1; Desmaterializa
Proceso tipo 4	+	-	-	Entre (-1y0); Mat. ligera ó < -1; Desmaterializa

\*/ Con el factor  $(y/m)_t$  evaluado en  $t_0$  o  $t_1$  se completa la información para determinar la localización precisa del estado del sistema en relación al



Sea evaluada en  $t=t_0$  ó  $t=t_1$ , el indicador-monitor para la contrastación de la hipótesis principal,  $(y/m)_t(\Delta m/\Delta y)$ , se presenta en la tabla 4.2.1-2 sus estimaciones y resumen con suma transparencia la primera corroboración empírica, la más general del estudio y, a la vez, más trascendente por su rol de validación del modelo SDA: *Las presiones ambientales que generan las actividades de producción y consumo de la Región Centro de México son más intensas*

(altas en nivel relativo) que las del agregado nacional.

Son resultados esperados del marco analítico propuesto y, además, muy congruentes con la realidad estudiada. En otros términos, la verificación de la hipótesis a la escala de los espacios económicos considerados implica que: la RCM *ha materializado* a lo largo del periodo, porque sus pendientes son positivas; miden el aumento de cada uno de los flujos físicos considerados por unidad de aumento del nuevo valor económico generado por la región (medido en PIB). Al multiplicar la pendiente por un simple factor de escala  $(y/m)_t$  ---siempre positivo-- se obtienen los valores también positivos para el indicador  $(y/m)_t (\Delta m / \Delta y)$ .

<b>Tabla 4.2.1-2. Nacional y RCM: Verificación de la hipótesis principal.</b>		
<b>Nacional</b>	$(y_{85}/m_{85})(\Delta m / \Delta y)$	$(y_{96}/m_{96})(\Delta m / \Delta y)$
AGUA INSUMO	-12,024.08	-8,118.03
AGUAS RESIDUALES	-7,718.06	-6,740.11
DESECHOS SOLIDOS	-692.02	-1,068.30
DESECHOS PELIGROSOS	-757.83	-880.77
<b>RCM</b>	$(y_{85}/m_{85})(\Delta m / \Delta y)$	$(y_{96}/m_{96})(\Delta m / \Delta y)$
AGUA INSUMO	6,258.5	5,034.0
AGUAS RESIDUALES	3,772.8	2,785.4
DESECHOS SOLIDOS	177.3	164.2
DESECHOS PELIGROSOS	621.2	449.2

Mientras que, sentido opuesto, el promedio de la *economía nacional desmaterializó* durante el mismo periodo. Sus pendientes son negativas, exhiben disminuciones en todos los flujos físicos considerados por unidad de aumento del PIB, lo cual confirma los valores negativos para el indicador-monitor en cada uno de los factores ambientales (Tabla 4.2.1-2). Pero además, es evidencia empírica de la tendencia estructural observada. Dado que los cálculos del indicador son *congruentes* con la realidad regional comparada en México, como se verá a lo largo de este capítulo 4, el modelo SDA con flujos físicos se considera *validado* en lo general.

Dicho esto, en consecuencia, podemos realizar comparaciones adicionales que involucren a la desagregación sectorial, esto es consistente analíticamente porque lo que comparando son desempeños ambientales de estructuras económicas a diferentes escalas o niveles de agregación: se comparan estructuras económicas de diferentes tamaños (nacional, regional, sectorial) mediante el indicador-monitor de (des)materialización ---véase las Tablas 4.2.1-3A y 4.2.1-3B en CD de soporte.

Como se puede observar directamente, la desagregación vuelve muy engorrosa la interpretación de los resultados. Justo para hacerlos más transparentes al análisis se propuso un *índice relativo de sustentabilidad (IS)*<sup>123</sup>. Nótese que los resultados son consistentes en la

<sup>123</sup> Para recordar su elaboración véase la sección 3.2.2.

identificación del tipo de desempeño ambiental al nivel de sectores económicos, tanto para la estimación del indicador (IS) en el tiempo inicial o el final. La única excepción ocurre en la GD-5 del caso nacional donde cambia la calificación de ‘S’ a ‘NS’<sup>124</sup> en los cuatro factores ambientales.

Se considera que el origen de la inconsistencia está en la calidad de la información disponible, aunque es importante señalar que el impacto no es significativo como para alterar el agregado de todos los sectores y para cada factor ambiental; véase las matrices de contribuciones sectoriales al desempeño ambiental de las estructuras RCM y NAL en tablas 4.2.1-3A y 4.2.1-3B (en CD). En estas tablas se presentan los grupos de valores para el cociente (IS(n)/IS(r)), base para identificar (localizar) las ‘entidades’ observadas en alguna de las seis zonas del espacio (IS<sup>r</sup>, IS<sup>n</sup>) de la figura 3.2-1; el “mapeo” correspondiente se resume como tabla 4.2.1-6, cuyos detalles de cálculo provienen de las tablas 4.2.1-4 y 4.2.1-5 (en CD).

Tablas 4.2.1-6 Mapeo por zonas del espacio IS(n) vs. IS(r).

IS(n) 85 / IS(r) 85	GD 01	GD 02	GD3: Div I	GD3: Div II	GD3: Div III	GD3: Div IV	GD3: Div V	GD3: Div VI	GD3: Div VII	GD3: Div VIII	GD3: Div IX	GD 04	GD 05	GD 06	GD 07	GD 08	GD 09	(y <sub>85</sub> / m <sub>85</sub> )(Am / Ay)
AGUA INSUMO	S(r)<S(n)	S(r)<S(n)	NS(r)<NS(n)	S(r) y NS(n)	NS(r)<NS(n)	S(r) y NS(n)	S(r) y NS(n)	NS(r) y S(n)	S(r)>S(n)	S(r)>S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r)>NS(n)	NS(r) y S(n)	NS(r)<NS(n)	NS(r)>NS(n)	S(r)>S(n)	NS(r) y S(n)
AGUAS RESIDUALES	S(r)>S(n)	NS(r)<NS(n)	NS(r)<NS(n)	NS(r) y S(n)	S(r) y NS(n)	S(r)>S(n)	S(r)>S(n)	S(r)>S(n)	S(r)>S(n)	S(r)>S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r)>NS(n)	NS(r) y S(n)	NS(r)>NS(n)	NS(r)>NS(n)	S(r)<S(n)	NS(r) y S(n)
DESECHOS SOLIDOS	NS(r)<NS(n)	NS(r) y S(n)	S(r) y NS(n)	NS(r) y S(n)	S(r)<S(n)	S(r) y NS(n)	NS(r) y S(n)	NS(r)<NS(n)	S(r)>S(n)	S(r)>S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r)>NS(n)	NS(r) y S(n)	NS(r)<NS(n)	NS(r)>NS(n)	S(r)>S(n)	NS(r) y S(n)
DESECHOS PELIGROSOS	S(r) y NS(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r)<NS(n)	S(r) y NS(n)	NS(r) y S(n)	S(r)<S(n)	S(r)>S(n)	S(r)<S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r)>NS(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r)>NS(n)	S(r)<S(n)	NS(r) y S(n)

IS(n) 96 / IS(r) 96	GD 01	GD 02	GD3: Div I	GD3: Div II	GD3: Div III	GD3: Div IV	GD3: Div V	GD3: Div VI	GD3: Div VII	GD3: Div VIII	GD3: Div IX	GD 04	GD 05	GD 06	GD 07	GD 08	GD 09	(y <sub>96</sub> / m <sub>96</sub> )(Am / Ay)	
AGUA INSUMO	S(r)<S(n)	S(r)<S(n)	NS(r)<NS(n)	S(r) y NS(n)	NS(r)<NS(n)	S(r) y NS(n)	S(r) y NS(n)	NS(r) y S(n)	S(r)<S(n)	S(r)<S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r)<NS(n)	NS(r)>NS(n)	S(r)>S(n)	NS(r) y S(n)
AGUAS RESIDUALES	S(r)>S(n)	NS(r)<NS(n)	NS(r)<NS(n)	NS(r) y S(n)	S(r) y NS(n)	S(r)<S(n)	S(r)>S(n)	S(r)>S(n)	S(r)<S(n)	S(r)<S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r)>NS(n)	NS(r)>NS(n)	S(r)<S(n)	NS(r) y S(n)
DESECHOS SOLIDOS	NS(r)<NS(n)	NS(r) y S(n)	S(r) y NS(n)	NS(r) y S(n)	S(r)<S(n)	S(r) y NS(n)	NS(r) y S(n)	NS(r)<NS(n)	S(r)<S(n)	S(r)<S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r)<NS(n)	NS(r)>NS(n)	S(r)>S(n)	NS(r) y S(n)
DESECHOS PELIGROSOS	S(r) y NS(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r)<NS(n)	S(r) y NS(n)	NS(r) y S(n)	S(r)<S(n)	S(r)<S(n)	S(r)<S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r) y S(n)	NS(r)>NS(n)	S(r)<S(n)	NS(r) y S(n)

### 4.2.2 Conclusiones importantes

Con esta metodología de SDA ha sido implementada una interpretación estructural propia, una forma consistente de verificar la hipótesis principal y la validación del modelo de SDA con flujos físicos regionalizado. Adicionalmente, hemos propuesto un índice de sustentabilidad (fuerte) con el cual realizar comparaciones entre espacios económicos y sus sectores. Sobre estas bases analíticas propias, entonces, se resumen las siguientes conclusiones importantes:

1. Se evidencia con los datos de la Tabla 4.2.1-2 que las presiones ambientales de la RCM son más intensas en los cuatro factores ambientales; o de manera equivalente se puede concluir que, la estructura asociada a la RCM tuvo un desempeño ambiental menos sustentable que la estructura Nacional entre 1985 y 1996.

<sup>124</sup> Para hacer una interpretación rápida y consistente, se expresan los valores de las tablas 4.2.1-3A y 4.2.1-3B en términos de estas etiquetas ‘NS’ y ‘S’ (Tablas 4.2.1-6). Baste recordar que valores de IS mayores que -1 indican *materialización* o tendencias desfavorables a la sustentabilidad, equivale a ‘NS’. En sentido contrario, menores que -1, corresponden a desempeños ambientales que *desmaterializan*; tendencia favorable a la sustentabilidad y equivale a la calificación ‘S’; tanto para el agregado nacional (‘n’) como el regional (‘r’).



2. Con los recursos analíticos propuestos es posible identificar qué espacios y qué sectores (actividades) económicos y en cuánto son responsables en la generación de presiones ambientales (véase Tablas 4.2.1-5 y 4.2.2-6; en CD).
3. Hay consistencia en cálculos realizados para las estructuras económicas comparadas en el periodo. La especificidad estructural<sup>125</sup> queda nítidamente reflejada en el desempeño ambiental por sectores para la RCM (Tabla resumen 4.2.1-6). Los escasos desempeños más sustentables están concentrados al lado izquierdo de la tabla cualitativa anterior, justo donde están localizadas las actividades del sector primario-extractivo; se desvanecen rápidamente en la medida en que nos movemos hacia las actividades de transformación industrial y de servicios, hacia donde las "regularidades" se vuelven desempeños abiertamente insustentables. Son los sectores que están determinando el resultado global agregado en la comparación entre regiones.
4. Con un enfoque estructural como el expuesto, podemos encontrar "pistas" del desempeño sectorial en relación a algún factor ambiental; por ejemplo, como en el sector primario de la RCM (agricultura, silvicultura y pesca) que es insustentable en el recurso clave para garantizar el desarrollo futuro: el agua. Si pudiéramos desagregar el espacio nacional en varias regiones, la riqueza que aportaría sería muy probablemente la corroboración de tendencias estructurales hacia la insustentabilidad de las actividades de este sector. Lo cual sugiere evaluar la pertinencia de una estrategia sustentable para el campo y las sociedades rurales en México, desde una perspectiva regional.
5. Si podemos alcanzar este nivel de identificación de responsabilidades entre el comparativo RCM vs. NAL, podemos generalizar la metodología para cualquier nivel de análisis inter e intrarregional, y entonces construir un instrumento básico de negociación de conflictos ambientales entre espacio delimitados jurídica y políticamente: federación, estados, municipios, comunidades; dependiendo de la información confiable disponible (base empírica).

Cabe señalar que los resultados no se alteran si se emplea cualquiera de las dos técnicas de regionalización programadas en los algoritmos de cálculo ---coeficientes simples o coeficientes cruzados de Flegg. La identificación a nivel sectorial del peso de cada uno de los cuatro determinantes (o causas) que "explican" los efectos en el cambio total de cada uno de los factores ambientales, se estiman y presentan para su análisis en series de tablas posteriores.

### **4.3 Interpretación del SDA con flujos físicos: Evaluación del desempeño ambiental de economías regionales (RCM y agregado nacional)**

En estricto sentido se considera validado el modelo SDA para cuantificar el desempeño ambiental de estructuras económicas regionales. Sin embargo, se considera también que esta sección complementa el proceso metodológico de validación porque documenta la consistencia

---

<sup>125</sup> Una RCM con vocación industrial y de servicios, y un sector primario-extractivo con menor relevancia, que durante el proceso de cambio estructural de la economía mexicana empujó a esta región hacia una *refuncionalización* de las actividades de servicios (mayor concentración y centralización).

de los resultados obtenidos mediante el uso de otras variantes de SDA.

Dicho esto, pasamos a la exposición con más detalle de las evidencias sobre las causas o determinantes que “explican” los cambios totales para los cuatro factores ambientales. Para el SDA se utilizó un vector general de presiones ambientales con cuatro componentes o factores: 1) consumo de agua (insumo), 2) aguas residuales, 3) desechos sólidos municipales y 4) desechos peligrosos. Son únicas variables ambientales que podemos manejar como representativas de los flujos físicos inducidos por la actividad económica regional en México.

Se emplean tres procedimientos (o variantes) de SDA<sup>126</sup> para comparar resultados por diferentes técnicas y confirmar la consistencia de resultados generales ya presentados. Por conveniencia y fácil identificación, los resultados del SDA se clasifican en cuatro grupos, en términos de los objetivos específicos de cálculo buscados.

Los cálculos más “precisos”<sup>127</sup>, aunque con los objetivos concretos de un SDA convencional, se presentan en la sección 4.3.1. Con otros objetivos como la comparación entre espacios (RCM vs NAL) y sectores económicos más la identificación de sectores “clave” para el uso (o generación) de factores ambientales, están los resultados que se presentan en las tres grupos restantes de SDA y se exponen en las secciones 4.3.2, 4.3.3 y 4.3.4. Como el factor suelo tiene un tratamiento metodológico distinto: *no es un SDA sino un cálculo de la huella ecológica (EF)*, sus resultados se presentan en la sección 4.4.

#### 4.3.1 Grupo I de resultados del SDA

Para las agregaciones espaciales RCM y el nacional en 1985 y 1996, en las tablas 4.3.1-1A y 4.3.1-1B se adelanta un resumen para mostrar y comparar valores para los cuatro componentes del SDA, entre la primera y segunda estimación polar y el promedio entre ellos. Se opta por presentar en primer lugar los resultados de la técnica cuya estimación vuelve despreciable o marginal el valor del término residual o cruzado<sup>128</sup>.

---

<sup>126</sup> Como se ha mencionado, en el Anexo III se detallan las dos técnicas de SDA restantes.

<sup>127</sup> Son los cálculos con la mayor “precisión” alcanzable, porque emplea la técnica del promedio de las estimaciones polares para resolver el problema de SDA (Dietzenbacher y Los, 1998).

<sup>128</sup> No existe estudio empírico en México sobre una investigación similar que sirva para ofrecer un referente contra el cual comparar y calcular algún sesgo de nuestras estimaciones.

Tabla 4.3.1-1A. Nacional: Análisis de Descomposición Estructural (SDA, 1985-1996)

<b>1ra Frm Polar</b>	$\Delta f^1_p$	$\Delta E S_1 y_{s1} y_{e1}$	$E_0 \Delta S y_{s1} y_{e1}$	$E_0 S_0 \Delta y_s y_{e1}$	$E_0 S_0 y_{s0} \Delta y_e$
AGUA INSUMO	708.9	621.8	(72.3)	(559.9)	719.3
AGUAS RESIDUALES	168.0	(253.9)	164.7	(50.5)	307.7
DESECHOS SOLIDOS	452.2	(269.1)	162.6	(492.9)	1,051.6
DESECHOS PELIGROSOS	369.9	(2,123.8)	621.2	685.9	1,186.6
<b>2da Frm Polar</b>	$\Delta f^1_p$	$\Delta E S_1 y_{s1} y_{e1}$	$E_0 \Delta S y_{s1} y_{e1}$	$E_0 S_0 \Delta y_s y_{e1}$	$E_0 S_0 y_{s0} \Delta y_e$
AGUA INSUMO	708.9	769.7	(176.1)	(601.2)	716.4
AGUAS RESIDUALES	168.0	1.1	25.2	(127.3)	269.0
DESECHOS SOLIDOS	452.2	126.1	(34.5)	(525.0)	885.5
DESECHOS PELIGROSOS	369.9	(803.8)	152.6	60.8	960.3
<b>Efecto Total</b>	$\Delta f^m$	$\Delta E^m$	$\Delta S^m$	$\Delta y_s^m$	$\Delta y_e^m$
AGUA INSUMO	708.9	695.7	(124.2)	(580.5)	717.9
AGUAS RESIDUALES	168.0	(126.4)	95.0	(88.9)	288.4
DESECHOS SOLIDOS	452.2	(71.5)	64.1	(509.0)	968.6
DESECHOS PELIGROSOS	369.9	(1,463.8)	386.9	373.3	1,073.5

Tabla 4.3.1-1B. RCM: Análisis de Descomposición Estructural (SDA, 1985-1996)

<b>1ra Frm Polar</b>	$\Delta f^1_p$	$\Delta E S_1 y_{s1} y_{e1}$	$E_0 \Delta S y_{s1} y_{e1}$	$E_0 S_0 \Delta y_s y_{e1}$	$E_0 S_0 y_{s0} \Delta y_e$
AGUA INSUMO	178.1	143.3	31.3	(74.5)	78.0
AGUAS RESIDUALES	42.8	(48.1)	77.5	(50.4)	63.9
DESECHOS SOLIDOS	187.3	(86.0)	107.9	(48.8)	214.1
DESECHOS PELIGROSOS	(64.1)	(326.4)	255.3	(252.8)	259.9
<b>2da Frm Polar</b>	$\Delta f^1_p$	$\Delta E S_1 y_{s1} y_{e1}$	$E_0 \Delta S y_{s1} y_{e1}$	$E_0 S_0 \Delta y_s y_{e1}$	$E_0 S_0 y_{s0} \Delta y_e$
AGUA INSUMO	178.1	172.8	(0.1)	(90.1)	95.6
AGUAS RESIDUALES	42.8	4.1	7.9	(29.3)	60.2
DESECHOS SOLIDOS	187.3	(4.2)	(1.8)	(16.1)	209.4
DESECHOS PELIGROSOS	(64.1)	(140.3)	36.6	(163.3)	202.9
<b>Efecto Total</b>	$\Delta f^m$	$\Delta E^m$	$\Delta S^m$	$\Delta y_s^m$	$\Delta y_e^m$
AGUA INSUMO	178.1	158.0	15.6	(82.3)	86.8
AGUAS RESIDUALES	42.8	(22.0)	42.7	(39.9)	62.0
DESECHOS SOLIDOS	187.3	(45.1)	53.1	(32.5)	211.8
DESECHOS PELIGROSOS	(64.1)	(233.3)	146.0	(208.1)	231.4

En esta sección se usan los mismos datos que sirvieron para la contrastación empírica de hipótesis principal, pero ahora se presentan los resultados para su interpretación como análisis de descomposición estructural en dos niveles de agregación:

1. Un primer nivel, en el cual el cambio total de cada factor ambiental usado o generado en el espacio económico analizado se descompone en dos determinantes causales, el relativo a las actividades humanas que: *i)* influyen decisivamente sobre la *estructura de la producción*,  $\Delta m$  --contiene los efectos combinados que derivan de cambios en el coeficiente de intensidad de uso o generación y de cambios en la estructura tecnológica de producción; y *ii)* determinan un *patrón o estructura de consumo*,  $\Delta y$  --contiene los efectos combinados debidos a cambios en la composición y en el volumen de la demanda final.
2. Un segundo nivel de desagregación, que complementa al anterior por su mayor detalle, donde los componentes identificados se descomponen ahora en dos más cada uno; son los efectos por cambios en: *i)* en la generación de desechos por unidad de valor monetario del producto que la propicia,  $\Delta E$ ; *ii)* en la estructura de la producción,  $\Delta S$ ; *iii)* en la composición del gasto en demanda final,  $\Delta y_s$  (estilo de vida); y *iv)* en el volumen de la demanda final,  $\Delta y_e$ <sup>129</sup>.

Este SDA en dos niveles es muy importante por sus implicaciones para la evaluación y diseño de instrumentos de política ambiental “especializada” o regional. Vuelve operativa la aspiración inicial (objetivo) de construir capacidades para identificar niveles de responsabilidad sectorial, física y espacialmente, como una manera de aportar bases para la negociación del conflicto ambiental entre niveles de gobierno, generalizable según el objeto de estudio en particular. Instrumentalmente, es importante porque las causas, directas e indirectas, de las presiones ambientales generadas en la esfera del consumo usualmente se combaten con instrumentos distintos a los ubicados en la esfera de la producción.

### **Primer nivel de descomposición ( $\Delta y$ con $\Delta m$ )**

En las tablas 4.3.1-2A & 4.3.1-2B presentadas líneas arriba, se observa con nitidez la situación más desfavorable de la RCM respecto de la nacional. En prácticamente todas las actividades humanas de la RCM relacionadas con la producción y el consumo hubo contribuciones positivas para explicar el cambio total en agua (insumo y residual) y desechos; con la única excepción del peso relativo del cambio negativo (-36.4%) en los desechos peligrosos por consumo final.

---

<sup>129</sup> La expresión básica asociada es:  $\mathbf{f} = \mathbf{E}\mathbf{S}\mathbf{y}_s\mathbf{y}_e$ . Para estimar estos efectos como cambios totales ( $\Delta\mathbf{f}$ ) se recurre al uso de una función lineal y aditiva de crecimiento económico, expresado en términos de ganancias o pérdidas en los valores de los cuatro componentes “causales” mencionados; la ecuación fundamental correspondiente es:  $\Delta\mathbf{f} = \mathbf{f}_1 - \mathbf{f}_0 = \mathbf{E}_1\mathbf{S}_1\mathbf{y}_{s1}\mathbf{y}_{e1} - \mathbf{E}_0\mathbf{S}_0\mathbf{y}_{s0}\mathbf{y}_{e0}$ .

**Tabla 4.3.1-2A. Nacional: Análisis de Descomposición Estructural, (1985-1996)**

<b>Efecto Total</b>	$\Delta f^m$	$\Delta m$	$\Delta y$	$\Delta m$ (en %)	$\Delta y$ (en %)
AGUA INSUMO	708.892	571.534	137.358	80.624	19.376
AGUAS RESIDUALES	168.028	(31.456)	199.484	(18.720)	118.720
DESECHOS SOLIDOS	452.166	(7.446)	459.612	(1.647)	101.647
DESECHOS PELIGROSOS	369.905	(1,076.899)	1,446.804	(291.128)	391.128

**Tabla 4.3.1-2B. RCM: Análisis de Descomposición Estructural, (1985-1996)**

<b>Efecto Total</b>	$\Delta f^m$	$\Delta m$	$\Delta y$	$\Delta m$ (en %)	$\Delta y$ (en %)
AGUA INSUMO	178.098	173.644	4.454	97.499	2.501
AGUAS RESIDUALES	42.840	20.670	22.170	48.250	51.750
DESECHOS SOLIDOS	187.273	7.969	179.304	4.255	95.745
DESECHOS PELIGROSOS	(64.070)	(87.397)	23.327	136.409	(36.409)

Es interesante observar también que para aguas residuales los componentes productivo y consuntivo son del mismo monto (48.2 y 51.7 %), aunque para agua como insumo es dominante el cambio en el componente productivo, 97.5%, en comparación con el consuntivo, 2.5%; situación opuesta se presenta para el cambio en los desechos sólidos (4.2% vs. 95.7%; véase tabla 4.3.1-2A).

Un aspecto distinto se observa para el promedio del país. Son muy fuertes los cambios atribuibles al patrón de consumo para los cuatro factores (+19.4, +118.7, +101.6 y +391.1%), en contraste con los cambios originados en la estructura productiva que muestra disminución en sus variaciones (+80.6, -18.7, -1.6 y -291.1%); con la excepción del factor agua-insumo (véase tabla 4.3.1-2B). Se pueden confirmar resultados con la misma descomposición estructural, pero ahora desagregada a nivel sectorial, véase serie de Tablas T 4.3.1-3A, B, C y D; en CD).

Sin duda, una primera conclusión puede sintetizarse así: Es necesario implementar políticas ambientales que tengan como objetivo las conductas o actividades humanas relacionadas con el patrón de consumo en ambos espacios regionales, aunque más urgente atacar los fuertes montos en el promedio nacional. Por el lado de los instrumentos que focalizan a las actividades relacionadas con la estructura productiva (tecnología), la situación es apremiante para la RCM.

### **Segundo nivel de descomposición (cuatro componentes)**

El punto de partida de esta sección son las Tablas 4.3.1-4A a 4D (en valores absolutos y relativos, %) y, en particular, la 4B y 4D. Con la desagregación identificamos con más especificidad qué componente contribuye a 'explicar' los cambios totales.

**Tabla 4.3.1-4A. Nacional: Análisis de Descomposición Estructural, (1985-1996)**

Efecto Total	$\Delta f^m$	$\Delta E^m$	$\Delta S^m$	$\Delta y_s^m$	$\Delta y_e^m$
AGUA INSUMO	708.9	695.7	(124.2)	(580.5)	717.9
AGUAS RESIDUALES	168.0	(126.4)	95.0	(88.9)	288.4
DESECHOS SOLIDOS	452.2	(71.5)	64.1	(509.0)	968.6
DESECHOS PELIGROSOS	369.9	(1,463.8)	386.9	373.3	1,073.5

**Tabla 4.3.1-4B. Nacional: Análisis de Descomposición Estructural, (1985-1996) - (en %)**

Efecto Total	$\Delta f^m$	$\Delta E^m$	$\Delta S^m$	$\Delta y_s^m$	$\Delta y_e^m$
AGUA INSUMO	100.0	98.1	(17.5)	(81.9)	101.3
AGUAS RESIDUALES	100.0	(75.2)	56.5	(52.9)	171.6
DESECHOS SOLIDOS	100.0	(15.8)	14.2	(112.6)	214.2
DESECHOS PELIGROSOS	100.0	(395.7)	104.6	100.9	290.2

**Tabla 4.3.1-4C. RCM: Análisis de Descomposición Estructural, (1985-1996)**

Efecto Total	$\Delta f^m$	$\Delta E^m$	$\Delta S^m$	$\Delta y_s^m$	$\Delta y_e^m$
AGUA INSUMO	178.1	158.0	15.6	(82.3)	86.8
AGUAS RESIDUALES	42.8	(22.0)	42.7	(39.9)	62.0
DESECHOS SOLIDOS	187.3	(45.1)	53.1	(32.5)	211.8
DESECHOS PELIGROSOS	(64.1)	(233.3)	146.0	(208.1)	231.4

**Tabla 4.3.1-4D. RCM: Análisis de Descomposición Estructural, (1985-1996) - (en %)**

Efecto Total	$\Delta f^m$	$\Delta E^m$	$\Delta S^m$	$\Delta y_s^m$	$\Delta y_e^m$
AGUA INSUMO	100.0	88.7	8.8	(46.2)	48.7
AGUAS RESIDUALES	100.0	(51.4)	99.6	(93.1)	144.8
DESECHOS SOLIDOS	100.0	(24.1)	28.3	(17.3)	113.1
DESECHOS PELIGROSOS	100.0	364.2	(227.8)	324.8	(361.2)

De manera consistente seguimos observando que los componentes dominantes para la RCM y el país están por el lado de los efectos de demanda para los cuatro factores ambientales. En particular, sabemos ahora que el componente de volumen (escala) es el decisivo, pues el otro componente del efecto demanda el relativo a la composición del gasto, explica reducciones en el periodo con la excepción del factor por desechos peligrosos que muestra aumentos significativos.

El componente que relaciona la estructura productiva, concretamente refiere a la tecnología (tercera columna), ofrece el otro ámbito donde operar con acciones ambientales, en tanto que para ambos espacios regionales se encuentran aumentos en los factores ambientales. Para este segundo nivel de descomposición estructural se presentan los resultados, con el detalle de la desagregación sectorial, en la serie de tablas 4.3.1-5A & 5B y T 4.3.1-5C & 5D.

### 4.3.2 Grupo II de resultados del SDA

Empezamos esta sección presentando resultados del procedimiento que permite comparar regiones que manifiestan un desempeño ambiental superior o inferior al espacio económico de referencia, el cual puede entenderse como un promedio de la muestra total de regiones o espacio nacional; cálculos realizados con la ecuación 11 del Anexo III. Hecha la comparación, se identifican los determinantes (causas) de efectos tipo intensidad, estructurales y por volumen de la demanda final, lo cual nos permitirá detallar el origen o fuentes de generación y, por tanto, ofrecer un criterio para asociar responsabilidad por las presiones ambientales que se materializan como impactos sobre los SA regionales.

El análisis de descomposición estructural de esta sección no es tan preciso como el anterior, es una aproximación porque los términos residuales (columna cinco) no aseguran ser despreciables o iguales a cero<sup>130</sup>. Sin embargo, para nuestro caso de estudio tales residuos resultaron ser insignificantes respecto de los cambios totales calculados (tablas 4.3.2-1A y 1B), tanto para las estimaciones que usan coeficientes de localización simple (CS) como coeficientes de cruzados (CC) de Flegg, empleados para 'regionalizar' los coeficientes técnicos de las matrices de I-O.

**Tabla 4.3.2-1A. Comparativo RCM vs NAL con coeficientes de Localización Simple (CS; 1996-1985)**

1985	$\Delta f'$	$\Delta \varepsilon' B^m s_d^m$	$\varepsilon' B^m \Delta B s_d^m$	$\varepsilon' B^m \Delta s_d$	$\frac{1}{4} \Delta \varepsilon' \Delta B \Delta s_d$
AGUA INSUMO	5.63614	5.63766	(5.39991)	5.39991	(0.00152)
AGUAS RESIDUALES	6.91360	6.90241	(0.80931)	0.80931	0.01119
DESECHOS SOLIDOS	7.37953	7.36707	(0.90555)	0.90555	0.01246
DESECHOS PELIGROSOS	13.22461	13.26018	(6.57395)	6.57395	(0.03557)

1996	$\Delta f'$	$\Delta \varepsilon' B^m s_d^m$	$\varepsilon' B^m \Delta B s_d^m$	$\varepsilon' B^m \Delta s_d$	$\frac{1}{4} \Delta \varepsilon' \Delta B \Delta s_d$
AGUA INSUMO	10.13978	10.18695	(8.71213)	8.71213	(0.04718)
AGUAS RESIDUALES	6.78482	6.77644	(0.75282)	0.75282	0.00838
DESECHOS SOLIDOS	2.89500	2.89169	(0.78609)	0.78609	0.00331
DESECHOS PELIGROSOS	15.54894	15.43950	(2.54558)	2.54558	0.10945

**Tabla 4.3.2-1B. Comparativo RCM vs NAL con coeficientes de localización cruzados de Flegg (CC; 1996-1985)Con**

1985	$\Delta f'$	$\Delta \varepsilon' B^m s_d^m$	$\varepsilon' B^m \Delta B s_d^m$	$\varepsilon' B^m \Delta s_d$	$\frac{1}{4} \Delta \varepsilon' \Delta B \Delta s_d$
AGUA INSUMO	11.95008	12.19488	(12.08134)	12.08134	(0.24480)
AGUAS RESIDUALES	11.89920	12.04795	(4.91457)	4.91457	(0.14875)
DESECHOS SOLIDOS	11.85412	11.99140	(5.10102)	5.10102	(0.13728)
DESECHOS PELIGROSOS	39.10735	39.57066	(29.72047)	29.72047	(0.46331)

1996	$\Delta f'$	$\Delta \varepsilon' B^m s_d^m$	$\varepsilon' B^m \Delta B s_d^m$	$\varepsilon' B^m \Delta s_d$	$\frac{1}{4} \Delta \varepsilon' \Delta B \Delta s_d$
AGUA INSUMO	21.18084	21.83730	(20.10013)	20.10013	(0.65646)
AGUAS RESIDUALES	13.98053	14.35767	(6.43246)	6.43246	(0.37713)
DESECHOS SOLIDOS	7.47173	7.62872	(5.02157)	5.02157	(0.15699)
DESECHOS PELIGROSOS	59.21091	60.44607	(35.83702)	35.83702	(1.23515)

<sup>130</sup> Sólo muestra la aplicación de una de las variantes de SDA al mismo problema de cuantificación (ver Anexo III).

Los valores estimados mediante la técnica de CC oscilan entre 2 ó 3 veces arriba de los obtenidos mediante la CS. Como no disponemos de información de calidad que sirva para construir un referente y poder identificar qué técnica está sub o sobrestimando. Este problema no tiene un gran impacto en el cálculo de los parámetros estructurales que se han estimado; en la tablas 4.3.2-2A y 2B, como un análisis de proporciones, se observa que los valores para los cocientes de  $valor(96) \div valor(85)$  mantienen el mismo orden de magnitud para ambas técnicas CS y CC<sup>131</sup>.

Tabla 4.3.2-2A. Comparativo 1996-1985 RCM vs NAL (Coeficientes de localización simple)

1985-1996	$\Delta f'$	$\Delta \varepsilon' B^m S_d^m$	$\varepsilon'^m \Delta B S_d^m$	$\varepsilon'^m B^m \Delta S_d$	$\frac{1}{4} \Delta \varepsilon' \Delta B \Delta S_d$
AGUA INSUMO	1.79906	1.80695	1.61338	1.61338	31.07453
AGUAS RESIDUALES	0.98137	0.98175	0.93019	0.93019	0.74891
DESECHOS SOLIDOS	0.39230	0.39252	0.86808	0.86808	0.26539
DESECHOS PELIGROSOS	1.17576	1.16435	0.38722	0.38722	(3.07685)

Tabla 4.3.2-2B. Comparativo 1996-1985 RCM vs NAL (Coeficientes de localización cruzados de Flegg)

1985-1996	$\Delta f'$	$\Delta \varepsilon' B^m S_d^m$	$\varepsilon'^m \Delta B S_d^m$	$\varepsilon'^m B^m \Delta S_d$	$\frac{1}{4} \Delta \varepsilon' \Delta B \Delta S_d$
AGUA INSUMO	1.77244	1.79069	1.66373	1.66373	2.68163
AGUAS RESIDUALES	1.17491	1.19171	1.30885	1.30885	2.53536
DESECHOS SOLIDOS	0.63031	0.63618	0.98442	0.98442	1.14355
DESECHOS PELIGROSOS	1.51406	1.52755	1.20580	1.20580	2.66591

Se presentan los cálculos del SDA en dos variantes fundamentales: 1) uso de matriz de distribución de la demanda o matriz inversa de Gosh y 2) entre dos espacios (RCM y Nacional). Un cambio adicional introducido, de poca relevancia, consistió en eliminar del efecto composición por demanda final en el ejercicio de descomposición, para simplificar dado que es dominante el peso del componente de volumen, pero se mantienen las tres componentes restantes del procedimiento anterior.

Entre los resultados relevantes podemos destacar los siguientes. En suma, consistentemente se mantienen las observaciones expuestas. En última fila de la tabla 4.3.2-2C se muestra directamente en cuánto las intensidades de uso para los cuatro factores ambientales *son mayores* en la RCM que en el promedio Nacional, tanto en 1985 y 1996. La comparación en el periodo muestra  *aumentos casi del doble* en el agua como insumo y muy ligero para los desechos peligrosos, descenso significativo en desechos sólidos y constancia para el agua residual. En términos generales, la RCM mantiene un peor desempeño ambiental en comparación con el agregado nacional (NAL) durante el periodo (1985-96).

Las diferencias espaciales entre coeficientes de intensidad de uso en su desagregación

<sup>131</sup> Por simplicidad y congruencia en los resultados se escogió la técnica CS, aunque en la programación de los algoritmos numéricos puede seleccionarse también la opción 'CC' para todas las posibilidades de análisis elaborados.



sectorial y factorial (Tabla 4.3.2-2C) es un buen ejercicio de estática comparada, en él se muestra estructural y temporalmente qué sectores de la RCM y en cuánto, de manera regular, han presentado peores desempeños ambientales que el promedio nacional y son las actividades secundarias y terciarias, como era de esperar.

Desde la tabla 4.3.2-3A hasta la 4.3.2-3D se presenta el SDA para los tres componentes o efectos (intensidad, estructura y demanda). Observamos de la serie de tablas que los efectos que explican el peor desempeño del agregado regional son el debido a intensidad de uso y de tamaño de la demanda final, ambos explicables por los procesos de concentración de ciertos tipos de actividad económica (sectores) y por la elevada concentración poblacional en la RCM.

**Tabla 4.3.2-2C. Intensidades de Uso entre RCM y Nacional (1985 y 1996)**

RCM vs NAL	Agua insumo		Agua residual		Desechos sólidos		Desechos peligrosos	
	1985	1996	1985	1996	1985	1996	1985	1996
<b>GD 01</b>	5.36899	11.59560	0.06008	0.08670	0.01344	0.01767	(0.36171)	(0.02045)
<b>GD 02</b>	(0.02354)	0.08873	(0.11665)	0.20340	(0.09617)	(0.01303)	(3.01944)	(1.44676)
<b>GD3: Div I</b>	(2.75895)	(3.39032)	1.71766	2.70276	1.29013	0.96090	(0.52683)	0.32140
<b>GD3: Div II</b>	0.10997	0.07469	0.27811	0.26274	0.41816	0.16468	0.41035	1.06141
<b>GD3: Div III</b>	0.20876	0.31000	0.44134	0.70708	0.07415	0.09503	3.39370	3.99120
<b>GD3: Div IV</b>	0.20794	0.19071	0.33960	0.34924	0.17971	0.11807	0.48120	0.54292
<b>GD3: Div V</b>	0.25626	0.13039	0.39538	0.28213	0.24935	0.09291	0.74900	0.04063
<b>GD3: Div VI</b>	0.35261	0.34324	0.65154	0.80320	0.15160	0.12383	1.23464	1.37702
<b>GD3: Div VII</b>	0.07105	0.07562	0.13086	0.16486	0.07790	0.04686	3.05635	4.03790
<b>GD3: Div VIII</b>	0.03005	(0.15077)	0.04375	(0.20706)	0.24803	(0.42287)	0.63428	(0.53822)
<b>GD3: Div IX</b>	1.27069	(0.10455)	2.16332	(0.23366)	3.12840	(0.27653)	8.06556	(1.24926)
<b>GD 04</b>	(0.00110)	0.13114	(0.07769)	0.27363	(0.19503)	(0.05570)	(3.15083)	(0.15906)
<b>GD 05</b>	0.03484	0.03007	0.06810	0.05919	0.29530	0.18899	0.26410	0.10336
<b>GD 06</b>	(0.03288)	0.09402	(0.07336)	0.17877	0.29438	1.19172	(0.50058)	0.89232
<b>GD 07</b>	0.03174	0.07798	0.05145	0.14294	0.28027	0.22818	(0.04573)	0.88927
<b>GD 08</b>	0.12189	0.27892	0.23514	0.50170	0.30053	0.20981	0.69952	3.07964
<b>GD 09</b>	0.38780	0.36428	0.60496	0.50722	0.66938	0.22448	1.84103	2.62562
<b>FACTOR AMBIENTAL (TOTAL)</b>	5.63614	10.13978	6.91360	6.78482	7.37953	2.89500	13.22461	15.54894

### Análisis por sectores

No obstante que el nivel de desagregación es reducido (17 sectores), los resultados presentan un conjunto rico y amplio de información procesada, fundamental para construir una base para la negociación regional de conflictos ambientales a escala sectorial. Los resultados de este

procedimiento, ‘mapeo’ de los indicadores por sectores, se exponen por factor ambiental y se enlistan como la serie de tablas 4.3.2-4A a 4.3.2-4D a continuación.

Una observación general es que si para un factor ambiental dado el peso relativo de un sector es muy alto, las medias aritméticas que se usan para dividir el espacio en cuatro cuadrantes presentan un fuerte sesgo hacia los valores altos, como es el caso del agua-insumo en el sector primario para la RCM y el agregado nacional. En la medida que se distribuyen de manera más uniforme los pesos sectoriales, la taxonomía de desempeño ambiental de los sectores económicos se vuelve más confiable (caso desechos sólidos y peligrosos).

Por esta razón se implementa este procedimiento, donde se identifican sectores ‘clave’ con el indicador de desempeño ambiental ‘mapeado’ en un espacio particionado, igualmente, a partir de las medianas, en cuadrantes que identifican alguno de los tipos de desempeño señalados (véase sección 2 en Anexo III). Podemos ahora, por sectores y regiones construir una evaluación del desempeño de un grupo de interés bien definido y localizado de actividades humanas. Estos indicadores deben ser estimados identificando su rango de aplicabilidad y sus restricciones generales; la serie de tablas 4.3.2-4A a 4.3.2-4D enlista los resultados para su interpretación.

1. Agua como insumo 1985 y 1996:

**Tabla 4. 3.2-4A. Sectores ‘clave’: Agua como insumo 1985 y 1996**

<b>1985</b>	$I(C^1)_i > I(C^1)$	$I(C^1)_i < I(C^1)$
$I(C^2)_i > I(C^2)$	<i>I</i> GD3: Div IX	<i>II</i> GD 02; GD3: Div II; GD3: Div III; GD3: Div IV; GD3: Div V; GD3: Div VI; GD3: Div VII; GD3: Div VIII; GD 05; GD 06; GD 07; GD 08; GD 09
$I(C^2)_i < I(C^2)$	<i>III</i> GD 01 ; GD3: Div I; GD 04	<i>IV</i>
<b>1996</b>	$I(C^1)_i > I(C^1)$	$I(C^1)_i < I(C^1)$
$I(C^2)_i > I(C^2)$	<i>I</i>	<i>II</i> GD 02; GD3: Div II; GD3: Div III; GD3: Div IV; GD3: Div V; GD3: Div VI; GD3: Div VII; GD3: Div VIII; GD 05; GD 06; GD 07; GD 08; GD 09; GD3: Div IX; GD 04.
$I(C^2)_i < I(C^2)$	<i>III</i> GD 01; GD3: Div I;	<i>IV</i>

2. Aguas residuales 1985 y 1996:

**Tabla 4. 3.2 -4B. Sectores 'clave': Agua residuales 1985 y 1996**

1985	$I(C^1)_i > I(C^1)$	$I(C^1)_i < I(C^1)$
$I(C^2)_i > I(C^2)$	GD3: Div IX;	GD3: Div II; GD3: Div IV; GD3: Div V; GD3: Div VI; GD 05; GD 07; GD 08 ; GD 09; GD3: Div III; GD3: Div VII; GD3: Div VIII
$I(C^2)_i < I(C^2)$	GD3: Div I; GD 04	GD 01; GD 02 ; GD 06
1996	$I(C^1)_i > I(C^1)$	$I(C^1)_i < I(C^1)$
$I(C^2)_i > I(C^2)$		GD3: Div II; GD3: Div IV; GD3: Div V; GD3: Div VI; GD 05; GD 07; GD 08 ; GD 09; GD 02 ; GD3: Div IX; GD 06
$I(C^2)_i < I(C^2)$	GD3: Div I; GD 04; GD3: Div III;	GD 01; GD3: Div VII; GD3: Div VIII;

3. Desechos sólidos 1985 y 1996:

**Tabla 4. 3.2 -4C. Sectores 'clave': Desechos sólidos 1985 y 1996**

1985	$I(C^1)_i > I(C^1)$	$I(C^1)_i < I(C^1)$
$I(C^2)_i > I(C^2)$	GD3: Div II; GD3: Div IX;	GD3: Div III; GD3: Div IV; GD3: Div V; GD3: Div VI; GD 05 ; GD 07 ; GD 08 ; GD 09; GD3: Div VII;
$I(C^2)_i < I(C^2)$	GD3: Div I; GD 06;	GD3: Div VIII; G D 01 ; GD 02 ; GD 04
1996	$I(C^1)_i > I(C^1)$	$I(C^1)_i < I(C^1)$
$I(C^2)_i > I(C^2)$	GD3: Div II	GD3: Div III; GD3: Div IV; GD3: Div V; GD3: Div VI; GD 05 ; GD 07 ; GD 08 ; GD 09; GD 02 ; GD3: Div IX;
$I(C^2)_i < I(C^2)$	GD3: Div I; GD 06; G D 04	GD3: Div VIII; GD 01; GD3: Div VII;

4. Desechos peligrosos 1985 y 1996:

**Tabla 4. 3.2 -4D. Sectores 'clave': Desechos peligrosos 1985 y 1996**

1985	$I(C^1)_i > I(C^1)$	$I(C^1)_i < I(C^1)$
$I(C^2)_i > I(C^2)$	GD3: Div II; GD3: Div IX; GD3: Div III;	GD 02; GD3: Div IV; GD3: Div VI; GD 05; GD 07; GD 08; GD 09; GD3: Div V; GD3: Div VII;
$I(C^2)_i < I(C^2)$	GD3: Div I; GD3: Div VIII; GD 0 4;	GD 01; GD 06
1996	$I(C^1)_i > I(C^1)$	$I(C^1)_i < I(C^1)$
$I(C^2)_i > I(C^2)$	GD3: Div II; GD3: Div IX	GD 02; GD3: Div IV; GD3: Div VI; GD 05; GD 07; GD 08; GD 09; GD 06
$I(C^2)_i < I(C^2)$	GD3: Div I; GD3: Div VIII; GD 04; GD3: Div III; GD 3: Div VII;	GD 01; GD3: Div V

### 4.3.3 Grupo III de resultados del SDA

En este mismo hilo de continuidad metodológica, este procedimiento de SDA ofrece una variante que es la siguiente. Un indicador de presión ambiental con estimaciones dadas en unidades de elasticidad de la demanda de uso (o generación) del factor ambiental. Se mantiene del procedimiento anterior, el uso de la matriz de distribución de la demanda o matriz inversa de Gosh<sup>132</sup>.

En un espacio con esta 'métrica' pueden identificarse sectores-clave de una estructura económica, según el tipo de desempeño ambiental observado y pueden también encontrarse vínculos más definidos del comportamiento económico en relación al uso de agua o generación de desechos. Con ello se pueden precisar mejor *responsabilidades sectoriales* de desempeño ambiental intra e interregiones dentro de un espacio económico nacional.

Los resultados en detalle del cálculo de la ecuación (26) del Anexo III se presentan en la serie de tablas 4.3.3-1A a 4.3.3-4D para cada espacio económico, factor ambiental y año considerado. De ellas se obtienen las sumas por columna y por fila que se resumen en la serie de tablas 4.3.3-0 (A, B, C y D; véase en CD)<sup>133</sup>.

<sup>132</sup> Aunque el concepto de sector 'clave' desde su desarrollo original por Rasmussen (1956) ha pasado por múltiples señalamientos de sus limitaciones y observaciones metodológicas críticas, las cuales han contribuido a perfeccionar su uso. No se considera necesario para esta investigación abundar más sobre este debate.

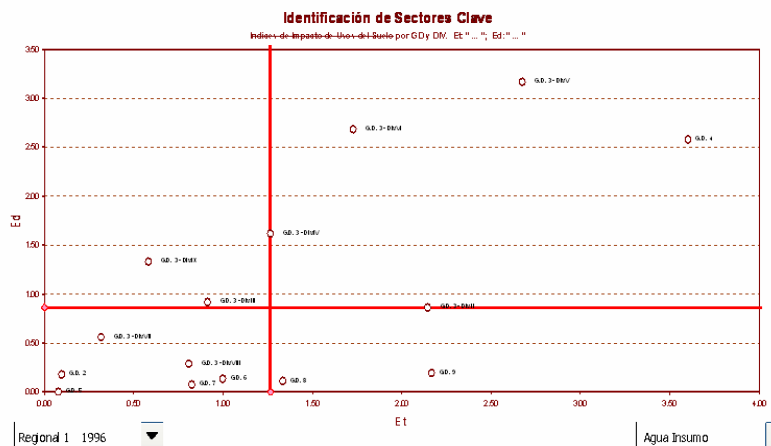
<sup>133</sup> La consistencia de los cálculos se comprueba al ser igual a 1.0 la suma por columna y la suma por fila.

Para ilustrar la interpretación considere los datos del agua-insumo del sector primario de la economía nacional (1985, Tabla 4.3.3-0A). Ahí identificamos, directamente, la suma por columnas como el *impacto total*, que significa un aumento porcentual dado en el uso de agua realizado por toda la economía (0.393) en respuesta a un aumento en 1% de la demanda final del sector primario. Mientras que, cuando ocurre un aumento en 1% en la demanda final de todos los sectores, el uso o consumo de agua (insumo) del sector primario aumenta en un 0.875 respecto del consumo de agua previo (87.5% del aumento total correspondería al sector primario). Este dato de la tabla 4.3.3-0A, que identificamos como la suma por filas, es un elemento del vector de *impacto distributivo o sectorial*; equivalente a la distribución de usos o consumos sectoriales directos.

A partir de aquí la interpretación de los resultados se generaliza sin problema alguno a las series completas de tablas 4.3.3-0 y 4.3.3-1. Para no insistir más, se confirman las tendencias, sin la aparición de inconsistencias que pongan en duda el marco analítico usado.

En consecuencia, la interpretación directa emplea estos indicadores de impacto para construir un mapeo de sectores en el espacio ( $E_T$ ,  $E_D$ ), especificado por un componente *efecto total* ( $E_T$ ) y otro de *efecto distributivo* ( $E_D$ ). Propiamente se construye una taxonomía sectorial que muestra *cuánto y en qué* sentido un sector productivo es relevante (clave) ante el uso o consumo de agua o generación de desechos en general. Para ello calculamos primero los valores de las medianas del los impactos total y distributivo,  $E_T$  y  $E_D$ , respectivamente<sup>134</sup>.

Para la taxonomía sectorial descrita al final de la sección 2 del Anexo III se exponen aquí, los resultados o conjunto de mapeos con todo el detalle respectivo; véase la serie de figuras 4.3.3-1A a 4.3.3-8D. Ante el gran número de mapeos obtenidos mediante los algoritmos programados, vamos simplemente a ilustrar la interpretación general para los mapeos exhibidos en las figuras siguientes (4.3.3-2D y 4.3.3-1D) exclusivamente; por su importancia, se trata del factor ambiental agua-insumo, los dos espacios económicos considerados y el año más reciente (1996).

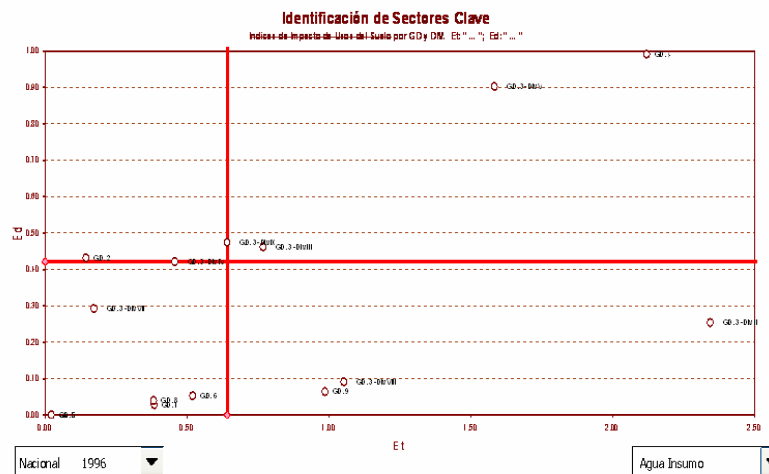


**Figura 4.3.3-2D. AGUA-INS RCM-96**

<sup>134</sup> Si una mediana permite partir una distribución en partes (áreas) iguales, con el empleo de  $E_T$  y  $E_D$  como las medianas de los impactos total y distributivo al representarlas en un espacio bidimensional, estaremos partiendo a éste en áreas iguales también.

Como el procedimiento busca identificar los sectores-clave desde el punto de vista de la generación de presiones ambientales, entonces debemos comenzar justamente con los sectores localizados en el *Cuadrante II (superior derecho)*.

Para la RCM se trata de las GD I, GD 3-I (dominantes fuertes), GD 4, GD 3-V y GD 3-VI; como sectores “compartidos” con otros cuadrantes por estar en los límites están GD 3-IV y GD 3-II. Para este grupo de sectores-clave, en términos porcentuales, su impacto en el uso total del factor representa el 88.3 % y, en relación a su impacto distributivo o por su participación en el consumo directo total de agua-insUMO equivale al 93.6%. Simplemente los dos sectores dominantes exhiben los valores de 80.5 y 85.3% respectivamente.



**Figura 4.3.3-1D. AGUA-INS NAC-96**

Prácticamente se observa el mismo grupo de sectores-clave (*cuadrante II, superior derecho*) cuando se analiza el agregado nacional: GD I y GD 3-I como dominantes fuertes, GD 4, GD 3-V, GD 3-III y el grupo de los sectores “compartidos” (GD 3-IV y GD 3-IX). Los valores para el indicador de impacto en el uso total del factor y de impacto distributivo, son ligeramente más intensos en el agregado nacional respecto de la RCM, los estimados son 92.8% y 97.1% para el promedio nacional y, en particular, para los sectores dominantes 87.9 y 94.3%, respectivamente.

Aunque las diferencias no son grandes, este resultado parecería ser una contradicción con las tendencias observadas anteriormente. En realidad, es una expresión de la mala calidad de la información usada que se conjuga con la fuerte dominancia o intensidad de uso de los sectores GD I y GD 3-I.

Pero además, el peso relativo del sector GD-I en la RCM es más bajo que el promedio nacional, mientras que el peso del sector GD 3-I en la RCM es mucho más alto que el promedio nacional. Esta especificidad tiene implicaciones en el cálculo anterior pues están implícitos en él fuertes efectos de encadenamiento productivo hacia atrás y hacia adelante, entre el sector primario (agricultura, ganadería, pesca y forestal) y el sector de alimentos y bebidas (GD 3-I), en ambos la medida debe ser factor ambiental es agua “incorporada”.

En suma, este grupo de sectores-clave del cuadrante II es crucial para el uso de agua-insUMO pues sus efectos total y distributivo exceden los valores medianos de los sectores

productivos. Por ende, estimulan el uso de agua de otros sectores productivos y, al mismo tiempo, son inducidos por otros sectores al consumo, por eso tienen una altísima participación en la generación de presiones ambientales.

Esta es una fuerte evidencia como para inferir que el sector primario debería tener una estrategia integral propia en un marco de planeación ambiental (física y espacial) como se ha prefigurado en esta investigación. De igual manera, sectores industriales como el GD 3-I (alimentos y bebidas) deberían tener tratamiento o políticas sectoriales específicas como el caso anterior. Los tres grupos de sectores restantes se resumen en el siguiente cuadro (Tabla 4.3.3-1)<sup>135</sup>.

Tabla 4.3.3-1. Cuadro-Resumen RCM-NAL (1996): Sectores identificados en cuadrantes I, III y IV para el agua como insumo.

Grupos de sectores	Agua-insumo (1996)	
	RCM	NACIONAL
I. Sectores Relevantes desde la perspectiva de la demanda de otros sectores	GD 3-IV*; GD 3-IX; GD 3-III.	GD 3-IV*; GD 3-VI; GD 3-IX*; GD 3-V*; GD 2.
III. Sectores No relevantes	GD 3-VII; GD 3-VIII; GD 6; GD 7; GD 2; GD 5.	GD 3-VII; GD 3-V*; GD 6; GD 7; GD 8; GD 5.
IV. Sectores Relevantes desde la perspectiva de su demanda final	GD 3-II*; GD 9; GD 8.	GD 3-II; GD 3-VIII; GD 9.

\*/ Sectores compartidos con otros cuadrantes.

#### 4.3.4 Grupo IV de resultados del SDA (*auxiliar o complementario*)

En realidad se documenta esta sección solo como un complemento de los resultados anteriores. Lo interesante es que esta variante refiere a una propuesta muy incipiente de un análisis de flujos físicos y, como se ha expuesto en la sección 3 (Anexo III), si la calidad de la información es confiable entonces pueden especificarse valores (estables) de parámetros estructurales para construir escenarios de planeación en el uso (o generación) de los factores ambientales considerados.

De manera similar que los procedimientos anteriores, se realiza un SDA en tres componentes que miden los efectos de intensidad de uso, estructura productiva y de demanda final, a partir de la ecuación 43 (sección 3 en Anexo III). Los resultados se presentan en la serie de tablas 4.3.4-1A hasta la T 4.3.4-4B (en CD).

Este procedimiento basado en el trabajo seminal de J. Proops (1988) tiene un uso auxiliar, pero metodológicamente importante. Dado que se tiene como único dato disponible el

<sup>135</sup> Son concentrados que se muestran en las figuras 4.3.3-2D y 4.3.3-1D

monto total de uso de agua o generación de desechos asociada a la demanda final, se tuvo que reexpresar este volumen total en las partes proporcionales de bienes y servicios producidos por los distintos sectores de una economía. De alguna manera los procesos consuntivos están directa o indirectamente vinculados a los actos concretos de consumo de bienes; el ajuste está presente en todos los cálculos<sup>136</sup>.

#### 4.4 Cálculo de la *huella ecológica (EF)* o intensidad de uso (presión) del factor ambiental suelo

Este procedimiento tiene una gran importancia porque mediante la variable de suelo se integra al análisis información sobre el tamaño y tipo de espacio ocupado por los asentamientos humanos y los diversos tipos de formaciones naturales, desde las más prístinas hasta las ocupadas parcialmente por las actividades humanas. El patrón usual es que los asentamientos humanos se expandan a costa del espacio ocupado por los ecosistemas.

Si hubiera información de calidad disponible en México, anclada a las actividades de producción y consumo, el instrumento *EF-modificado* sería uno de los posibles buenos *monitores o variables de control* del sistema SE-SA. A pesar de ello, por su utilidad para la concepción y evaluación de políticas de desarrollo regional sustentable, se realiza el ejercicio completo el procedimiento metodológico propuesto en el capítulo 3. Este instrumento *EF-modificado* se calcula con una metodología distinta de la original (Wakernagel and Rees, 1996) porque el concepto EF está incorporado en un marco I-O (ver sección 3.3).

Las *EF* estimadas para el agregado nacional (1.7 y 2.1, ha. *per cápita*) son congruentes con los estimados para otros países, comparando por niveles de desarrollo económico, son menores a los de EU y Canadá, pero mayores que la India (Tabla 4.4-1d). Sin embargo, surge un resultado contradictorio con la realidad objeto de esta investigación: la *EF(RCM)* es menor que la *EF(NAL)*, véase tabla 4.4-1a. Esta aparente contradicción del cálculo, a mi parecer, tiene su origen en que no está debidamente diferenciada la fuerte dependencia exterior de la RCM del conjunto de bienes y servicios provenientes del sector primario, y el estimado es muy sensible en este sector (concentra más del 90% del espacio ocupado).

Recuerde que la estructura económica de la RCM es de alta concentración relativa de actividades en los sectores secundario y terciario; los niveles de actividad primaria están por abajo del promedio nacional; y que históricamente su comercio con otras regiones del territorio nacional ha sido muy intenso, incluso más intenso que respecto al resto del mundo.

En consecuencia, que el espacio económico esté encadenado fuertemente al mercado interno y al comercio interregional es crucial porque involucra los grandes volúmenes que demanda en bienes y servicios primarios, todos ellos intensivos en uso de suelo. Por eso, sin registros contables para esos flujos económicos cualquier cálculo estará muy distorsionado<sup>137</sup>.

---

<sup>136</sup> Véase el Cuadro de apoyo al final del Anexo III como “Regla de ajuste por escalamiento con los flujos físicos”.

<sup>137</sup> Por ausencia de información sobre la demanda final desagregada en sus componentes básicos, los cálculos tienen que realizarse sin poder desagregar demanda doméstica y demanda externa; en particular, las exportaciones e importaciones dentro y fuera del país.



Tabla 4.4-1a. EF Nacional y RCM comparativo

EF (en Has per cápita)	Nacional	RCM
1985	1.68179	0.37770
1996	1.36570	0.28498
1985*	2.10223	0.75539
1996*	1.70713	0.56996

\*/ Estimaciones realizadas con 50% y 25% del EFT para el componente *energy-land* en

Tabla 4.4-1c. Componentes de la huella ecológica para la RCM y NAL (1985 y 1996)

Componentes EF	EF(sin E-L)	EF-energy land*	EFT
NAL-85	1.68179	0.42045	2.10223
RCM-85	0.37770	0.37770	0.75539
NAL-96	1.36570	0.34143	1.70713
RCM-96	0.28498	0.28498	0.56996

\*/ Estimaciones realizadas con 50% y 25% del EFT para el componente *energy-land* (E-L) en la RCM y NAL respectivamente.

Tabla 4.4-1b. EF medida en Req. Totales de Suelo\* (Centenas de Km2)

	Nacional	RCM
1985	11,998.035	860.553
1996	12,622.272	846.805
Superficie oficial (Centenas de Km2)	19,582.010	865.150
Potencial de suelo (límite espacial) 85	7,583.975	4.597
Potencial límite (en %) 85	38.73	0.53
Potencial de suelo (límite espacial) 96	6,959.738	18.345
Potencial límite (en %) 96	35.54	2.12

\*/ Valores obtenidos de la serie de tablas 4.4-5.

Tabla 4.4-1d. EF Nacional y RCM comparativo con países representativos

Países representativos	EFT (en Has per cápita)
Estados Unidos	5.10
Canadá	4.27
Nueva Zelandia	3.49
Países Bajos	3.33
NAL-85	2.10
Promedio mundial	1.80
NAL-96	1.71
RCM-85	0.76
RCM-96	0.57
India	0.38

Fuente: Wackernagel and Rees (1996), citado en Bicknell (1998).

Son importantes estos flujos económicos porque tienen incorporado directa e indirectamente partes alícuotas del factor suelo. Entonces, la RCM como economía predominantemente secundaria y terciaria, los montos los flujos económicos del sector primario son determinantes porque el sector ocupa  $\pm$  95% del espacio total en la RCM y en el espacio nacional.

Aunque con una contribución cuantitativa de menor importancia, la otra razón que explica por qué encontramos estimados para  $EF(RCM) < EF(NAL)$ , es que la metodología EF incorpora también una componente denominado de *energy-land* (Sección 3.3), para cuya estimación tampoco se dispone de información fácilmente accesible y no fue posible su estimación específica.

Por observación de los datos EF estimados para otros países se extrae como una cota superior para el componente *energy-land* un equivalente al 50% del EF total en países desarrollados, que gradual y monótonicamente disminuyen conforme se acentúan los rezagos tecnológicos y la fragilidad institucional.

En consecuencia, se suple la ausencia de datos con un ejercicio numérico que se basa en considerar a la RCM como una región con intenso consumo de energía, asignando un valor para el peso relativo del 50%, propio a espacios con alto nivel de desarrollo; para el promedio nacional elige un peso del 25%. Como es de esperar, este cálculo grueso reduce las discrepancias entre las EF de la RCM y el agregado nacional; la tabla 4.4-1a contiene las estimaciones *con* y *sin* el componente *energy-land*.

La EF es un buen indicador del nivel de presión sobre la ocupación del suelo debido a que la ocupación del espacio asociado a la cifra EF se interpreta en términos de los requerimientos totales de suelo; como una medida del suelo productivo incorporado (requerido),

directa o indirectamente, en la generación del producto consumido por la población total asentada en el espacio económico considerado (ver tabla 4.4-1b).

Sin componente de *energy-land* el consumo total expresado en un equivalente de 'EF' alcanza un valor estimado para la RCM prácticamente igual a su límite espacial (jurídico-político); mientras que el agregado nacional presenta un valor equivalente a 2/3 partes del territorio nacional. Cuando las EF incorporan en su cálculo el componente de energía, *ambos espacios superan los límites legales* (Tabla 4.4-1c). Particularmente es fuerte el "déficit ecológico" asociado al nivel de consumo de la población total de la RCM: el déficit de suelo equivale casi al área total legal (límite físico). Se trata de un resultado cuya fuerte subestimación quedaría en evidencia si hubiera algún ajuste por flujos derivados del comercio interregional y exterior en general<sup>138</sup>.

Son previsibles ajustes a las EF por comercio exterior, por el componente de *energy land* y por afinación de la técnica en general, para bajar el promedio del agregado nacional abajo del promedio mundial (1.8 ha *per cápita*); y aumentar significativamente el promedio de la RCM por arriba de dicho promedio.

No sorprende que el sector primario (GD-I: Agricultura, Ganadería, caza y pesca y Silvicultura) requiera predominantemente del suelo productivo ocupado (más del 90%), véase la serie de tablas de vectores de suelo-insumo empleados para este procedimiento (Tabla 4.4-2). Y además, que en poco espacio se concentre una alta proporción de generación del PIB nacional, véase la serie de tablas de vectores coeficiente de intensidad de usos respectivos (Tabla 4.4-3).

Tabla Resumen 4.4-2. Nacional y RCM: Ocupación del suelo por sectores de actividad económica (en km<sup>2</sup>: 1996 y 1985)

Sectores económicos (SCN)	Suelo ocupado agregado nacional (1996)	Suelo ocupado agregado regional (1996)	Suelo ocupado agregado nacional (1985)	Suelo ocupado agregado regional (1985)
<b>USOS POR DEMANDA INTERMEDIA</b>	1,262,227.18	84,680.50	1,199,803.53	86,055.32
I.1 Agricultura	305,716.2	40,788.4	266,451.8	38,623.4
I.2 Ganadería, caza y pesca	289,142.9	17,499.4	221,810.7	18,537.0
I.3 Silvicultura	655,070.5	25,178.1	701,808.2	28,086.1
II. Minería y extracción de petróleo	6,466.4	63.1	6,703.9	73.5
III. Industrias manufactureras	1,166.2	230.29	605.8	147.08
III.1 Alimentos, bebidas y tabaco	129.6	25.6	67.3	16.3
III.2 Textiles, vestido y cuero	129.6	25.6	67.3	16.3
III.3 Madera y productos de madera	129.6	25.6	67.3	16.3
III.4 Papel, prod. de papel, imprentas y editoriales	129.6	25.6	67.3	16.3
III.5 Química, der. Petróleo, caucho y plásticos	129.6	25.6	67.3	16.3
III.6 Miner. No-metálicos, excepto der. Petróleo y carbón	129.6	25.6	67.3	16.3
III.7 Industrias Metálicas básicas	129.6	25.6	67.3	16.3
III.8 Productos Metálicos, maquinaria y equipo	129.6	25.6	67.3	16.3
III.9 Otras. Ind. Manufactureras	129.6	25.6	67.3	16.3
IV. Electricidad, gas y agua	291.6	57.6	151.4	36.8
V. Construcción	291.6	57.6	151.4	36.8
VI. Comercio, restaurantes y hoteles	583.1	115.1	302.9	73.5
VII. Transportes, almacenaje y comunicaciones	1,166.2	230.3	605.8	147.1
VIII. Servicios financieros, seguros, activ. inmobiliarias y de alquiler	1,166.2	230.3	605.8	147.1
IX. Servicios comunales, sociales y personales	1,166.2	230.3	605.8	147.1
<b>USOS POR DEMANDA FINAL</b>	5,831.2	1,151.4	3,028.9	735.4
<b>USOS POR DEMANDA TOAL</b>	1,268,058.42	85,831.93	1,202,832.45	86,790.73

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Resumen 4.4-3. Nacional y RCM: Coeficientes Suelo-output (en Has/Mil de Mill. pesos de 1993); para 1996 y 1985

Sectores económicos (SCN)	Coeficiente para agregado nacional (1996)	Coeficiente para agregado regional (1996)	Coeficiente para agregado nacional (1985)	Coeficiente para agregado regional (1985)
I Agricultura, Ganadería, caza y pesca, y Silvicultura	106.576	53.495	95.875	53.403
II. Minería y extracción de petróleo	1.714	0.285	1.207	0.868
III.1 Alimentos, bebidas y tabaco	0.007	0.008	0.004	0.006
III.2 Textiles, vestido y cuero	0.019	0.014	0.013	0.010
III.3 Madera y productos de madera	0.068	0.061	0.038	0.034
III.4. Papel, prod. de papel, imprentas y editoriales	0.034	0.017	0.025	0.011
III.5 Química, der. Petróleo, caucho y plásticos	0.009	0.006	0.007	0.004
III.6 Miner. No-metálicos, excepto der. Petróleo y carbón	0.037	0.022	0.026	0.014
III.7 Industrias Metálicas básicas	0.024	0.030	0.020	0.012
III.8 Productos Metálicos, maquinaria y equipo	0.003	0.004	0.007	0.005
III.9 Otras. Ind. Manufactureras	0.034	0.028	0.068	0.042
IV. Electricidad, gas y agua	0.028	0.029	0.016	0.018
V. Construcción	0.110	0.074	0.102	0.037
VI. Comercio, restaurantes y hoteles	0.018	0.010	0.009	0.008
VII. Transportes, almacenaje y comunicaciones	0.066	0.035	0.062	0.035
VIII. Servicios financieros, seguros, activ. inmobiliarias y de alquiler	0.056	0.020	0.069	0.021
IX. Servicios comunales, sociales y personales	0.043	0.016	0.033	0.012

Fuente: Elaboración propia.

<sup>138</sup> Como sería de esperar, si de alguna manera se hace el ajuste del sector externo, la *EF(RCM)* debería ser mayor que *EF(NAL)* y el tamaño del error sería de tal monto que, es también una medida del peso relativo de ese comercio exterior de la región que no ha sido contabilizado adecuadamente.

**Tabla Resumen 4.4-2. Nacional y RCM: Ocupación del suelo por sectores de actividad económica (en km2; 1996 y 1985)**

Sectores económicos (SCN)	Suelo ocupado agregado nacional (1996)	Suelo ocupado agregado regional (1996)	Suelo ocupado agregado nacional (1985)	Suelo ocupado agregado regional (1985)
<b>USOS POR DEMANDA INTERMEDIA</b>	1,262,227.18	84,680.50	1,199,803.53	86,055.32
I.1 Agricultura	305,716.2	40,788.4	266,451.8	38,623.4
I.2 Ganadería, caza y pesca	289,142.9	17,499.4	221,810.7	18,537.0
I.3 Silvicultura	655,070.5	25,178.1	701,808.2	28,086.1
II. Minería y extracción de petróleo	6,466.4	63.1	6,703.9	73.5
III. Industrias manufactureras	1,166.2	230.29	605.8	147.08
III.1 Alimentos, bebidas y tabaco	129.6	25.6	67.3	16.3
III.2 Textiles, vestido y cuero	129.6	25.6	67.3	16.3
III.3 Madera y productos de madera	129.6	25.6	67.3	16.3
III.4 Papel, prod. de papel, imprentas y editoriales	129.6	25.6	67.3	16.3
III.5 Química; der. Petróleo; caucho y plásticos	129.6	25.6	67.3	16.3
III.6 Miner. No-metálicos, excepto der. Petróleo y carbón	129.6	25.6	67.3	16.3
III.7 Industrias Metálicas básicas	129.6	25.6	67.3	16.3
III.8 Productos Metálicos, maquinaria y equipo	129.6	25.6	67.3	16.3
III.9 Otras. Ind. Manufactureras	129.6	25.6	67.3	16.3
IV. Electricidad, gas y agua	291.6	57.6	151.4	36.8
V. Construcción	291.6	57.6	151.4	36.8
VI. Comercio, restaurantes y hoteles	583.1	115.1	302.9	73.5
VII. Transportes, almacenaje y comunicaciones	1,166.2	230.3	605.8	147.1
VIII. Servicios financieros, seguros, activ. inmobiliarias y de alquiler	1,166.2	230.3	605.8	147.1
IX. Servicios comunales, sociales y personales	1,166.2	230.3	605.8	147.1
<b>USOS POR DEMANDA FINAL</b>	5,831.2	1,151.4	3,028.9	735.4
<b>USOS POR DEMANDA TOAL</b>	1,268,058.42	85,831.93	1,202,832.45	86,790.73
Fuente: Elaboración propia.				

**Tabla Resumen 4.4-3. Nacional y RCM: Coeficientes Suelo-output (en Has/Mil de Mill. pesos de 1993); para 1996 y 1985**

Sectores económicos (SCN)	Coeficiente para agregado nacional (1996)	Coeficiente para agregado regional (1996)	Coeficiente para agregado nacional (1985)	Coeficiente para agregado regional (1985)
I Agricultura; Ganadería, caza y pesca; y Silvicultura	106.576	53.495	95.875	53.403
II. Minería y extracción de petróleo	1.714	0.285	1.207	0.868
III.1 Alimentos, bebidas y tabaco	0.007	0.008	0.004	0.006
III.2 Textiles, vestido y cuero	0.019	0.014	0.013	0.010
III.3 Madera y productos de madera	0.068	0.061	0.038	0.034
III.4. Papel, prod. de papel, imprentas y editoriales	0.034	0.017	0.025	0.011
III.5 Química; der. Petróleo; caucho y plásticos	0.009	0.006	0.007	0.004
III.6 Miner. No-metálicos, excepto der. Petróleo y carbón	0.037	0.022	0.026	0.014
III.7 Industrias Metálicas básicas	0.024	0.030	0.020	0.012
III.8 Productos Metálicos, maquinaria y equipo	0.003	0.004	0.007	0.005
III.9 Otras. Ind. Manufactureras	0.034	0.028	0.068	0.042
IV. Electricidad, gas y agua	0.028	0.029	0.016	0.018
V. Construcción	0.110	0.074	0.102	0.037
VI. Comercio, restaurantes y hoteles	0.018	0.010	0.009	0.008
VII. Transportes, almacenaje y comunicaciones	0.066	0.035	0.062	0.035
VIII. Servicios financieros, seguros, activ. inmobiliarias y de alquiler	0.056	0.020	0.069	0.021
IX. Servicios comunales, sociales y personales	0.043	0.016	0.033	0.012
Fuente: Elaboración propia.				

Por ende, para convertir en instrumentos confiables de monitoreo las EF es necesario disponer de contabilidad regional (física y económica), que permita separar la producción doméstica o interior a la RCM de la obtenida por la vía de su comercio exterior y poder estimar mejor el suelo incorporado en el valor del saldo neto de la balanza regional de bienes y servicios.

No obstante el fuerte sesgo que subestima la  $EF(RCM)$ , con esta metodología podemos realizar un primer estimado de su tipo en México, para su mejora posterior. A pesar de la “fragilidad” de los resultados por ausencia de datos, la técnica es pertinente y se ofrece como el primer referente para establecer comparaciones incipientes entre las regiones del territorio nacional y con otros espacios del mundo.

### 4.4.1 Cálculo de la EF para la RCM y el agregado nacional con el Procedimiento de Bicknell et al.

Con base en el procedimiento expuesto en la sección 3.3 construimos el análisis siguiente. Cada elemento de la matriz  $H$  significa el requerimiento de suelo total, directo e indirecto, por cada aumento en una unidad de demanda final (véase serie de tablas 4.4-4). Concretamente, considere la tabla 4.4-4a (Nacional, 1985) para ilustrar la interpretación. Por cada aumento en un millón de pesos de 1993 en la demanda final del sector 1, se requerirá de 110.86 ha de suelo productivo empleado en el mismo sector, 0.0088 ha de suelo dedicado a la producción en el sector 2 y así sucesivamente. Los totales por columna representan el número total de hectáreas requeridas para aumentar el output de cada sector en un millón de pesos. Con la tecnología de producción vigente para la economía nacional en 1985, el sector 1 requiere de un total (directo más indirecto) de suelo como *input* equivalente a 110.87 ha por unidad de valor monetario en demanda final.

Tabla 4.4-4a. Nacional (1985): Matriz de Requerimientos directos e indirectos de suelo

$H = [L^{-1}(I - A)]_{NAC}$	GD 01	GD 02	GD3: Div I	GD3: Div II	GD3: Div III	GD3: Div IV	GD3: Div V	GD3: Div VI	GD3: Div VII	GD3: Div VIII	GD3: Div IX	GD 04	GD 05	GD 06	GD 07	GD 08	GD 09
GD 01	110.86043	0.09145	41.29426	5.66108	23.10609	2.59007	2.21651	0.28446	0.12781	0.34737	1.24605	1.15654	0.19971	0.13750	0.24950	0.13523	0.78808
GD 02	0.00878	1.24085	0.00701	0.01989	0.00784	0.01410	0.11581	0.03818	0.07774	0.01484	0.02512	0.03430	0.13736	0.00412	0.01033	0.00375	0.00718
GD3: Div I	0.00023	0.00000	0.00462	0.00017	0.00006	0.00010	0.00013	0.00001	0.00001	0.00001	0.00002	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00004
GD3: Div II	0.00007	0.00001	0.00011	0.01530	0.00026	0.00006	0.00007	0.00003	0.00002	0.00005	0.00015	0.00005	0.00003	0.00003	0.00003	0.00001	0.00010
GD3: Div III	0.00005	0.00003	0.00003	0.00008	0.04384	0.00098	0.00010	0.00006	0.00003	0.00034	0.00052	0.00183	0.00005	0.00003	0.00002	0.00003	0.00005
GD3: Div IV	0.00014	0.00008	0.00033	0.00051	0.00019	0.02986	0.00075	0.00081	0.00023	0.00043	0.00064	0.00035	0.00023	0.00051	0.00020	0.00035	0.00042
GD3: Div V	0.00053	0.00018	0.00035	0.00131	0.00045	0.00064	0.00877	0.00056	0.00028	0.00040	0.00065	0.00050	0.00040	0.00016	0.00070	0.00013	0.00040
GD3: Div VI	0.00007	0.00009	0.00023	0.00006	0.00006	0.00005	0.00020	0.02783	0.00010	0.00030	0.00028	0.00277	0.00008	0.00004	0.00005	0.00012	0.00027
GD3: Div VII	0.00008	0.00026	0.00014	0.00009	0.00017	0.00030	0.00015	0.00026	0.02674	0.00209	0.00079	0.00310	0.00009	0.00005	0.00009	0.00003	0.00009
GD3: Div VIII	0.00008	0.00011	0.00012	0.00008	0.00014	0.00009	0.00010	0.00018	0.00033	0.00728	0.00008	0.00040	0.00008	0.00006	0.00017	0.00005	0.00017
GD3: Div IX	0.00004	0.00002	0.00002	0.00008	0.00001	0.00007	0.00002	0.00001	0.00001	0.00002	0.06789	0.00003	0.00007	0.00002	0.00002	0.00008	0.00008
GD 04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01559	-	-	-	-	-
GD 05	0.00133	0.00228	0.00165	0.00241	0.00147	0.00415	0.00592	0.00838	0.00707	0.00237	0.00176	0.00290	0.11220	0.00169	0.00120	0.00165	0.00139
GD 06	0.00035	0.00033	0.00074	0.00106	0.00083	0.00071	0.00072	0.00049	0.00076	0.00100	0.00085	0.00082	0.00080	0.00918	0.00048	0.00016	0.00036
GD 07	0.00106	0.00160	0.00226	0.00276	0.00224	0.00189	0.00240	0.00172	0.00236	0.00264	0.00218	0.00371	0.00154	0.00184	0.06418	0.00089	0.00146
GD 08	0.00103	0.00085	0.00120	0.00192	0.00163	0.00214	0.00144	0.00175	0.00133	0.00197	0.00161	0.00305	0.00159	0.00349	0.00188	0.07117	0.01000
GD 09	0.00048	0.00127	0.00096	0.00122	0.00093	0.00138	0.00142	0.00169	0.00142	0.00170	0.00086	0.00250	0.00174	0.00266	0.00303	0.00373	0.03616
$\sum_i [H_{ij}]_{NAC}$	110.87473	1.33940	41.31402	5.70803	23.16622	2.64671	2.35652	0.36642	0.24623	0.38282	1.34945	1.22846	0.45597	0.16138	0.33188	0.21739	0.84626
$[m_j]_{NAC}$	1.15646	1.10989	10,279.60283	446.40916	607.11231	105.80999	331.03326	14.31301	12.57548	56.63623	19.93430	78.77742	4.46790	18.04363	5.31139	3.15942	25.60435
$M_{NAC}^{-1}NAC_{85}$																	

Una de las bondades del análisis I-O es que permite una apreciación profunda de los requerimientos de suelo para sectores que, en apariencia, no parecen ser particularmente intensivos en el uso de ese factor. Por ejemplo, aunque un aumento en un millón de pesos en demanda final del sector III-1 (Alimentos, bebidas y tabaco) sólo requiere de uso directo de suelo por 0.004 (en ha/miles de millones pesos, véase tabla 4.4-3), pero debido a encadenamientos hacia atrás con otros sectores de la economía nacional se expresa, finalmente, en requerimientos por 41.3 (mismas unidades) para satisfacer este incremento en la demanda final. Esto implica un multiplicador de suelo (*land multiplier*) de 10,279.6 (ó 41.3/0.004) para el sector 3.I.

El rastreo de la fila de estos multiplicadores muestra el monto de sus valores que pasan de centenas a las decenas a lo largo de los sectores secundario y terciario (tabla 4.4-4a); igualmente, se realizan las interpretaciones para las tablas 4.4-4b, -4c y -4d que contienen: la matriz de requerimientos directos e indirectos de suelo ( $H$ ), los vectores multiplicadores de suelo ( $iH$ ) y  $m_j$ , véase el anexo estadístico de este capítulo (en CD).

Pasamos ahora a los resultados del cálculo de la EF para los espacios económicos considerados convirtiendo los requerimientos totales de suelo en términos de EF per cápita, dividiendo simplemente por las respectivas poblaciones totales (véase serie de tablas 4.4-5).

Tabla 4.4-5a Nacional (1985): Estimación de la EF						Tabla 4.4-5b. Nacional (1996): Estimación de la EF					
	$\sum_i [H_{ij}]_{NAC(i)}$ 1985	Demanda final 1985 (Miles de Mill. \$ de 93) (b)	Req. Totales de Suelo (c) =(a)*(b)	EF (en Centenas de Km2 per cápita)	EF (en Has per cápita)		$\sum_i [H_{ij}]_{NAC(i)}$ 1996	Demanda final 1996 (Miles de Mill. \$ de 93) (b)	Req. Totales de Suelo: (c) =(a)*(b)	EF (en Centenas de Km2 per cápita)	EF (en Has per cápita)¹
GD 01	110.87473	48.0	5,325.107	0.00007464	0.74643	GD 01	124.82010	43.8	5,469.527	0.00005918	0.59179
GD 02	1.33940	42.9	57.405	0.00000080	0.00805	GD 02	1.90557	10.8	20.575	0.00000222	0.00223
GD3: Div I	41.31402	138.4	5,719.376	0.00008017	0.80170	GD3: Div I	39.50268	155.4	6,140.395	0.00006644	0.66438
GD3: Div II	5.70803	40.3	229.785	0.00000322	0.03221	GD3: Div II	6.99367	40.7	284.474	0.00000308	0.03078
GD3: Div III	23.16622	9.7	224.402	0.00000315	0.03145	GD3: Div III	10.87378	7.1	78.874	0.00000083	0.00832
GD3: Div IV	2.64671	9.0	23.912	0.00000034	0.00335	GD3: Div IV	2.67642	12.9	34.636	0.00000037	0.00375
GD3: Div V	2.35652	34.2	80.479	0.00000113	0.01128	GD3: Div V	2.21352	64.8	143.432	0.00000155	0.01552
GD3: Div VI	0.36542	10.0	3.675	0.00000005	0.00052	GD3: Div VI	0.44555	12.1	5.413	0.00000006	0.00059
GD3: Div VII	0.24623	4.8	1.175	0.00000002	0.00016	GD3: Div VII	0.32128	18.8	6.037	0.00000007	0.00065
GD3: Div VIII	0.38262	75.0	28.705	0.00000040	0.00402	GD3: Div VIII	0.34850	227.3	79.230	0.00000086	0.00857
GD3: Div IX	1.34945	9.4	12.695	0.00000018	0.00178	GD3: Div IX	1.80942	23.2	41.946	0.00000045	0.00454
GD 04	1.22846	97.1	119.305	0.00000167	0.01672	GD 04	0.71850	103.7	74.533	0.00000081	0.00806
GD 05	0.45597	5.3	2.434	0.00000003	0.00034	GD 05	0.79750	3.8	3.033	0.00000003	0.00033
GD 06	0.16138	279.7	45.141	0.00000063	0.00633	GD 06	0.19973	247.8	49.487	0.00000054	0.00535
GD 07	0.33188	63.5	21.068	0.00000030	0.00295	GD 07	0.34933	119.0	41.583	0.00000045	0.00450
GD 08	0.21739	40.7	8.853	0.00000012	0.00124	GD 08	0.28879	127.5	36.819	0.00000040	0.00398
GD 09	0.84626	117.4	99.387	0.00000139	0.01393	GD 09	0.81811	184.9	114.277	0.00000124	0.01236
¹ Población total en 1985: 71,341,000						¹ Población total en 1996: 92,423,314					
					<b>1.68179</b>						<b>1.36570</b>
					<b>3.36357</b>						<b>2.73140</b>
Tabla 4.4-5c. RCM (1985): Estimación de la EF						Tabla 4.4-5d RCM (1996): Estimación de la EF					
	$\sum_i [H_{ij}]_{NAC(i)}$ 1985	Demanda final 1985 (Miles de Mill. \$ de 93) (b)	Req. Totales de Suelo (c) =(a)*(b)	EF (en Centenas de Km2 per cápita)	EF (en Has per cápita)		$\sum_i [H_{ij}]_{NAC(i)}$ 1996	Demanda final 1996 (Miles de Mill. \$ de 93) (b)	Req. Totales de Suelo: (c) =(a)*(b)	EF (en Centenas de Km2 per cápita)	EF (en Has per cápita)¹
GD 01	55.83667	11.8	661.586	0.00002904	0.29037	GD 01	56.48841	11.2	633.465	0.00002132	0.21318
GD 02	0.88572	0.5	0.410	0.00000002	0.00018	GD 02	0.30650	1.1	0.337	0.00000001	0.00011
GD3: Div I	6.71118	20.4	137.070	0.00000602	0.06016	GD3: Div I	6.47122	24.1	156.144	0.00000525	0.05255
GD3: Div II	0.92732	12.8	11.827	0.00000052	0.00519	GD3: Div II	1.15091	11.0	12.627	0.00000042	0.00425
GD3: Div III	3.75657	2.9	10.750	0.00000047	0.00472	GD3: Div III	1.75417	2.2	3.831	0.00000013	0.00129
GD3: Div IV	0.42313	7.2	3.040	0.00000013	0.00133	GD3: Div IV	0.42918	6.4	2.756	0.00000009	0.00093
GD3: Div V	0.36399	21.9	7.978	0.00000035	0.00350	GD3: Div V	0.32968	20.6	6.792	0.00000023	0.00229
GD3: Div VI	0.06582	6.9	0.453	0.00000002	0.00020	GD3: Div VI	0.07903	6.3	0.497	0.00000002	0.00017
GD3: Div VII	0.04310	4.8	0.205	0.00000001	0.00009	GD3: Div VII	0.06126	3.7	0.229	0.00000001	0.00008
GD3: Div VIII	0.06371	25.6	1.633	0.00000007	0.00072	GD3: Div VIII	0.05653	30.6	1.731	0.00000006	0.00058
GD3: Div IX	0.24463	3.6	0.886	0.00000004	0.00039	GD3: Div IX	0.31104	3.0	0.923	0.00000003	0.00031
GD 04	0.19882	20.4	4.060	0.00000018	0.00178	GD 04	0.12133	20.1	2.437	0.00000008	0.00082
GD 05	0.07826	4.0	0.316	0.00000001	0.00014	GD 05	0.13008	4.2	0.547	0.00000002	0.00018
GD 06	0.03329	79.6	2.650	0.00000012	0.00116	GD 06	0.04125	92.8	3.830	0.00000013	0.00129
GD 07	0.07899	30.3	2.396	0.00000011	0.00105	GD 07	0.08061	48.6	3.921	0.00000013	0.00132
GD 08	0.04529	48.5	2.196	0.00000010	0.00096	GD 08	0.05922	82.6	4.894	0.00000016	0.00165
GD 09	0.14366	91.2	13.097	0.00000057	0.00575	GD 09	0.11027	107.4	11.844	0.00000040	0.00399
¹ Población total en 1985: 22,784,289						¹ Población total en 1996: 29,714,745					
					<b>0.37770</b>						<b>0.28498</b>
					<b>0.75539</b>						<b>0.56996</b>

Es necesario enfatizar que si la EF incorpora tecnologías insustentables daría por resultado un escenario muy distorsionado del impacto sobre el medio ambiente. Por ejemplo, quemar combustibles fósiles representa un consumo de un recurso agotable que genera subproductos indeseables, de manera similar prácticas agrícolas que erosionan el suelo, ambas terminan por comprometer las capacidades futuras de producción de alimentos y otros abastos primarios. Son los mismos efectos que se presentan en el caso de procesos industriales y actividades de consumo en general, que se expresan en la generación de desechos tóxicos de larga vida que ponen en riesgo el medio ambiente y, por ende, no pueden sostenerse

indefinidamente. El cálculo anterior no toma en consideración este tipo de prácticas insustentables.

#### 4.4.2 Consideraciones de cálculo de una EF en economía abierta y observaciones a la metodología

Una economía abierta requiere para su análisis de la medición de los flujos económicos que realiza con otras regiones dentro y fuera del país. Desde nuestra perspectiva metodológica, el análisis se vuelve muy difícil por la escasa o inexistente información sobre las intensidades de suelo usados para la producción interna y del exterior al espacio económico considerado.

Suponiendo similitud en las tecnologías de producción, los requerimientos de suelo incorporados en los bienes y servicios importados directamente para la demanda final se obtienen mediante los multiplicadores de suelo internos o promedio nacional. El procedimiento para calcular el suelo incorporado en las importaciones empleadas como bienes o servicios intermedios es todavía más complejo; se requiere de más supuestos simplificadores e información más desagregada aún<sup>139</sup>. Una vez más, involucra una gran demanda de información para proporcionar insumos intermedios desde las otras economías. El supuesto para simplificar y volver operativo el procedimiento consiste en suponer que las importaciones se generan con tecnologías domésticas<sup>140</sup>. De manera similar la interpretación para las exportaciones queda explícita.

El procedimiento de Ferng es muy pertinente en las observaciones hechas al inicialmente propuesto por Bicknell (ver sección 3.3). Aunque se realiza el ejercicio en esta investigación, nos hemos enfrentado con la alta sensibilidad al comercio exterior y al componente de *energy-land*; un comparativo de resultados con las dos metodologías expresado mediante los vectores  $s$  vs  $q$  para Bicknell y Ferng, respectivamente, se presenta en la serie de tablas 4.4-6 (en CD) en el anexo estadístico del capítulo. Es muy fuerte la concentración del suelo en el sector primario y el ajuste es muy severo para el resto de los sectores (desagregados) porque no incorpora los pesos asociados a los bienes y servicios intercambiados con el exterior de la RCM (ver serie de tablas 4.4-7, en CD).

La metodología de este procedimiento posee un conjunto de supuestos<sup>141</sup>, los propios al marco teórico I-O y los asociados a un concepto tan abarcante como el de EF. Del primer grupo está el supuesto de homogeneidad<sup>142</sup>, el cual puede crear problemas si aplicamos el análisis a nivel de la firma o producto, sin embargo, si la escala es adecuada (nivel macroeconómico nacional y regional) no debe ser tan restrictiva la aplicación de la técnica. El análisis I-O supone también funciones de producción lineal, que excluyen la posibilidad de economías de escala. Si la EF se estima como un indicador general del efecto del consumo vigente, entonces el supuesto lineal se vuelve una restricción. Una tercera limitante es que las tablas de

---

<sup>139</sup> Una matriz de valores para las importaciones por sector, donde las columnas corresponden a los sectores internos y las filas corresponden a los sectores del exterior (véase Bicknell *et al.*, 1998).

<sup>140</sup> Implica multiplicar la matriz de importaciones por la de requerimientos totales (directas e indirectas) del suelo. Cabe señalar que asignaciones implícitas de bienes importados por los sectores económicos introducen sesgos significativos en el cálculo de la EF, si se consideran esencialmente bienes finales o terminales cuando de hecho se trata de bienes del tipo materias primas.

<sup>141</sup> Como sostienen Bicknell *et al.* (1998): "...los supuestos sólo llegar ha convertirse en limitantes cuando comprometen la integridad de las conclusiones obtenidas de la investigación", que no es el caso.

<sup>142</sup> Cada industria (sector) produce un solo producto y todos los productos usan el mismo proceso y tecnología.

transacciones I-O excluyen las actividades económicas que están por fuera del mercado (economía monetaria), lo cual tiene un impacto central y directo en el cálculo de la EF.

Los flujos de bienes y servicios que genera una economía involucran inevitablemente a los flujos físicos en cuyas transacciones están presentes los valores monetarios, pero si los precios intersectoriales son constantes, se puede demostrar que el output físico intercambiado entre sectores se mantiene (Miller y Blair, 1985). Por ejemplo, considere que el sector-3 proporciona al sector-1 con un flujo cuyo valor es \$15 y al sector-2 con otro de \$25, cuando los precios intersectoriales se mantienen constantes se puede inferir que el sector-3 suministra al sector-2 con 1.67 ( $=25/15$ ) veces más output físico que al sector-1. Cuando tales precios difieren grandemente pueden distorsionar los vínculos físicos entre industrias y para la estimación de la EF es crucial, pues las conclusiones serían muy endebles e incluso falsas (Bicknell *et al.*, 1998; pág 158).

En un contexto de tecnologías diferentes para los espacios económicos que intercambian bienes y servicios, y por lo tanto presiones ambientales también, el suponer tecnologías lineales en cálculo de la EF puede acarrear una significativa subestimación (Bicknell *et al.*, 1998; pág 158), como fue el caso de la RCM<sup>143</sup>.

## 4.5 Conclusiones generales

Se ha construido una interpretación estructural propia y una forma consistente de verificar (cuantificar) responsabilidades o atribuciones ambientales; es decir, permite identificar: *qué espacios y sectores (actividades) económicos y en cuánto son responsables de la generación de presiones ambientales*. Por esta razón se propone como un instrumento básico que complementa la negociación del conflicto ambiental entre espacios delimitados jurídica y políticamente (federación, estados y municipios). Al comparar consistentemente desempeños ambientales entre la RCM y el agregado nacional, estamos en condiciones de replicar la metodología para cualquier comparación intra e interregional.

Este marco analítico ha mostrado sensibilidad para distinguir congruentemente entre la especificidad estructural y los desempeños ambientales por sectores de la RCM observados. Los escasos desempeños “más sustentables” están concentrados dentro de las actividades del sector primario-extractivo, porque los requerimientos de este sector en la RCM son cubiertas fuertemente mediante su comercio exterior.

En contraste, en la medida en que nos movemos hacia las actividades de transformación industrial y de servicios los desempeños ambientales se tornan rápidamente insustentables, dichos sectores determinaron el resultado agregado para la región RCM. La sensibilidad del instrumento alcanza muy bien como para identificar desempeños sectoriales relacionados con algún factor ambiental; por ejemplo, el sector primario de la RCM (agricultura, silvicultura y pesca) es insustentable con respecto al recurso clave para garantizar el desarrollo futuro: el agua. Esto sugiere evaluar la pertinencia de una estrategia sustentable para el campo y las sociedades rurales en la región.

Un aspecto crítica para la mejora sustantiva de la base empírica del marco analítico propuesto está en la contabilización sistemática del comercio interregional. El marco puede transformarse hacia uno con capacidades limitadas de predicción, pero puede evolucionar hacia

---

<sup>143</sup> Las debilidades propias al concepto de EF han sido comentadas en la sección 3.3 y en varios números del *Journal of Ecological Economics*, ahí citados.



uno que explique la dinámica de cambios de uso del suelo regional, como los trabajos de investigación de frontera que debidamente fueron referenciados en la sección 3.3.

El marco analítico y la metodología de cuantificación de desempeños ambientales de estructuras económicas regionales habrán de ser integrados plenamente al modelo de gestión ambiental adaptativo esbozado el final del capítulo 2. Este es un esfuerzo que debe realizarse en el futuro, en la medida en que se mejoren en México los sistemas de contabilidad extendidos ambientalmente hacia los flujos físicos. Cabe destacar que nuestro modelo de gestión ambiental adaptativo de control por normas cubre muy bien el llamado ciclo de evaluación ambiental de las actividades humanas (CEA) definido en el capítulo 1. Una última implicación, de corte metodológico, es su carácter modular y, por tanto flexible, puede uno transitar con relativa facilidad a un modelo de asignación de equilibrio general computable.

En conjunción con las observaciones generales obtenidas del diagnóstico del Anexo 0, se culmina esta parte empírica con una síntesis de conclusiones generales que sugieren, algunas grandes líneas de acción de política pública que se agrupan en *ámbitos de atención estratégica* para el desarrollo regional sustentable en México, en la sección 5.2.

***“Implicaciones de política y cambio institucional:  
Conclusiones y recomendaciones”***

**Contenido**

- 5.1 Una síntesis general: El problema económico-ambiental regional
- 5.2 Implicaciones de política ambiental sustentable y cambio institucional en México
- 5.3 Una opción al alcance: un comentario final

## Capítulo 5. Implicaciones de política y cambio institucional: Conclusiones y recomendaciones

...Las instituciones son una creación humana. Evolucionan y son alteradas por humanos...

D. North (1993)<sup>144</sup>

### 5.1 Una síntesis general: El problema económico-ambiental regional

Culmino esta investigación con el comienzo. En conciencia regreso a la tesis primitiva, origen de esta investigación, de que el ámbito crucial de la política ambiental en México está en gran parte en el institucional (capítulo 1). Se han aportado fundamentos para abordar problemas económico-ambientales como problemas estructurales propios del desarrollo regional y se han consolidado argumentos favorables a la planeación ambiental en las escalas física y espacial. Se considera entonces que en México: *el cambio institucional hacia la sustentabilidad requiere de planeación ambiental.*

Esta investigación es esencialmente aplicada, pero durante su elaboración se abrió la necesidad de proponer elementos de reflexión de un marco teórico-conceptual y la metodología asociada, con aportes propios, con el fin de describir y analizar el sistema físico de sustentación de un SE. La investigación se ubica en el campo de la EcEc, por la perspectiva teórica de análisis estructural para explicar aspectos de la interdependencia entre un SE y sus SA. No obstante las limitantes señaladas en su momento, algunas han podido ser superadas para construir instrumentos de evaluación y medición del desempeño ambiental de estructuras económicas regionales en México<sup>145</sup>.

Se ha logrado abordar un problema económico-ambiental como un problema estructural desde una perspectiva de desarrollo. Se ha documentado una base empírica amplia para sostener que prevalece y se profundiza en México un patrón estructural de desarrollo desigual entre regiones, en términos

Caracterización de las grandes mesorregiones de México	
Grandes mesorregiones de México	Características generales del patrón polarizado de desarrollo espacial
<p><b>Centro-Sur</b> (incluye parte de la RCM)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bajo dinamismo en el crecimiento económico.</li> <li>● Altos acervos de capital natural (CN).</li> <li>● Bajo acervo de capital humano (alta concentración de la pobreza).</li> <li>● Crítico por su bajo potencial de desarrollo que aumenta el riesgo de agotamiento del CN.</li> </ul>
<p><b>Centro-Norte</b> incluye parte de la RCM)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Alto dinamismo en el crecimiento económico.</li> <li>● Bajos acervos de CN.</li> <li>● Alto acervo de capital humano (baja concentración de la pobreza).</li> <li>● Crítico porque su alto potencial de desarrollo se pone en riesgo por problemas de abasto de un recurso ambiental como el agua, entre otros.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia, con base en resultados obtenidos en el diagnóstico del Anexo 0.

<sup>144</sup> En *Instituciones, cambio institucional y desempeño económico*, México, FCE, 1993, p. 16.

<sup>145</sup> Dado que la vía de la valuación económica es aún muy cuestionada y, en realidad, poco confiable para tomar decisiones y más de largo plazo como las políticas de corte sustentable, se consideró pertinente abordar el problema por el lado del sistema físico de sustentación de los espacios económicos regionales mediante una vía complementaria de análisis de flujos físicos.

de: rezago tecnológico, fragilidad institucional e insustentabilidad histórica. Tal caracterización general del patrón de desarrollo de más largo plazo en México queda resumida en el cuadro de caracterización de las grandes mesorregiones de México.

La RCM respecto al contexto nacional no ha tenido los mejores desempeños. Se observó estancamiento más que dinamismo económico por refuncionalización regional, bajos y muy degradados acervos de capital natural y, en especial, altamente vulnerable para el abasto de un recurso ambiental como el agua, entre otros. En una determinación geográfica crítica porque es una región de transición entre las dos grandes mesoregiones de México.

Se ha probado empíricamente que la RCM es un gran contribuyente o responsable del estado de deterioro del ambiente del país, localizado dentro y en su vecindad espacial “inmediata”. En abierta concordancia con la herencia ambiental del siglo XX en México: pérdida sostenida de capital natural que implica pérdida de la cobertura forestal y biodiversidad, pérdida de suelos, pérdida de potencial hidrológico, contaminación generalizada del agua, aire y suelo, son los términos del diagnóstico que ofrece el PNMA 2001-06<sup>146</sup>.

Aunque nadie puede estar en contra de la bondad del objetivo general de la estrategia ambiental en México: “...detener y revertir las tendencias de deterioro ambiental...” (PNMA 2001-06), en esta investigación se argumenta que la estrategia nacional es retórica, frágil e imprecisa en los instrumentos de evaluación y de política a utilizar (Anexo 0). El problema fundamental de este programa sectorial es la carencia de instrumentos para los objetivos de política y una “mala” señal está en colocar demasiado el énfasis en los incentivos económicos y las virtudes en la creación de mercados. Considero que la estructura y contenido de la llamada *Nueva Política Ambiental de México* es una muestra de ello.

Sin duda que los seis ejes<sup>147</sup> de la *Nueva Política* son necesarios, pero el contenido muestra la ausencia o pasividad desde la esfera del Estado para fomentar, modernizar y conducir acciones que incidan sobre procesos estructurales económico-ambientales; contenido burocrático por carencia de instrumentos de política explícitos para aterrizar hacia las escalas regional y local.

La política ambiental actual es ineficiente e insuficiente para contener o estabilizar (menos revertir) la gran mayoría de procesos ambientales de corte estructural, la regla observada continúa siendo: saldos físicos negativos del acervo de capital natural. No obstante, se reconoce el gran giro institucional de la política ambiental en México entre 1994-2000 (Anexo 0).

El sistema de asignaciones privadas vigente y sus intrínsecamente asociadas imperfecciones generalizadas (externalidades y fallas institucionales) adolecen del acompañamiento (complemento) de una intervención estratégica del gobierno que oriente y norme acciones regionales. Esta es una compleja trama de procesos cuyos efectos están presentes en cualquier problema de conflictividad ambiental, e involucra carencias institucionales como la falta de autoridad regional y derechos de propiedad, la baja coordinación por ausencia de acciones de planeación ambiental y, en particular, la grave carencia de enfoques analíticos para apoyar la superación del *conflicto ambiental entre espacios*

---

<sup>146</sup> Se mantiene el uso del PNMA 2001-06 como referente del análisis pues los problemas que se busca atacar son de carácter estructural y los temas centrales del documento oficial tienen toda la pertinencia para el largo plazo.

<sup>147</sup> Tales ejes son: 1) Integralidad, 2) Coordinación intergubernamental, 3) Nueva gestión, 4) Valoración de los recursos naturales, 5) Apego a la legalidad (no impunidad ambiental) y 6) Participación social y rendición de cuentas.

*económicos*. Nuestro enfoque aporta elementos para la negociación de tal conflicto<sup>148</sup>.

El modelo de gestión ambiental adaptativo que se ha propuesto, es un marco general propicio para la planeación ambiental a escala regional en México. En él es posible albergar también, un marco analítico que permita encontrar respuestas viables para un problema de atribución ambiental (capítulo 1). Pues se han identificado y cuantificado las cargas, contribuciones o responsabilidades a la generación total de presiones ambientales de la RCM y del agregado nacional. Para ello, en las esferas de producción y consumo se cuantificaron los determinantes (causas) estructurales de la generación de presiones a nivel de región y de sus sectores de actividad económica. Por último, se derivó un índice relativo de sustentabilidad (fuerte) para evaluar niveles de desempeño ambiental de estructuras económicas regionales. En consecuencia, se considera que se ha alcanzado el propósito general y principal de esta investigación.

Los impactos o consecuencias ambientales de la actividad humana se distribuyen siempre de manera desigual en el tiempo y el espacio. No sólo son específicas las dotaciones de los SA y sus capacidades de sustentación, sino también la capacidad efectiva de generación de presiones ambientales porque su determinante es la actividad antropogénica *in situ* o específicamente asociada a un espacio económico concreto. Para el desarrollo regional sustentable un problema estructural crítico en la RCM es la fragmentación de ecosistemas, evidencia que importan los fenómenos o procesos de escala en sus diferentes manifestaciones espacial, física y de biodiversidad.

En este sentido se sugiere que el espacio regional sea el plano natural para la convergencia y potenciación de los instrumentos de política ambiental sustentable. Es el plano de encuentro entre las acciones de política ambiental desde arriba (planes nacionales y estatales de desarrollo, incluso sectoriales) y las acciones que impulsan procesos sustentables desde abajo (desde la escala municipal hasta la local-comunitaria).

Este aspecto es importante porque la investigación aporta, con sus limitaciones, elementos a la argumentación en favor de consolidar el eje de la planeación ambiental en México. Asimismo, en la perspectiva de las políticas públicas se ofrecen elementos esenciales para alcanzar un *desarrollo regional sustentable en México*.

## **5.2 Implicaciones de política ambiental sustentable y cambio institucional en México**

La implicación principal de que el cambio institucional sustentable en México requiere planeación ambiental, está en el núcleo de nuestra propuesta desarrollo regional sustentable (DRS). La planeación ambiental es un ámbito pendiente que ofrece un enorme potencial por explorar y elaborar instrumentos de política regional en México. Como fue destacado en el diagnóstico del Anexo 0, la posibilidad está contemplada en la LGEEPA, pero ha sido un ámbito pasivo porque los planes sectoriales no han tenido objetivos concretos ni instrumentos para alcanzarlos.

---

<sup>148</sup> A priori se postula que este marco para el análisis de flujos físicos ofrece una fuente de información y análisis que hace posible desactivar el conflicto ambiental interespatial desde el ámbito correspondiente a la base material de sustentación de una economía. Son bases más objetivas para la negociación que podrían reducir el núcleo del conflicto aislándolo de los otros componentes intrínsecos a toda confrontación de intereses (monetarios, políticos, sociales, etcétera).

Nuestra propuesta conjunta ofrece una posibilidad para fortalecer la planeación ambiental en México sobre nuevas bases, las que provienen de la integración de las dimensiones física y espacial al análisis y a la toma de decisiones (elaboración de política). En consecuencia, en la base o núcleo de una auténtica política de Estado para el DRS deberían estar presentes:

1. La planeación ambiental regional en dos vertientes: i) Ordenamiento del espacio y ii) regulación de los flujos físicos de la interdependencia SE-SA. Permite integrar clases de instrumentos ligados a la dinámica de uso del suelo (espacio) y los balances de materia y energía.
2. El cambio institucional, con la creación de autoridades ambientales a escala regional y reglas transparentes de rendición de cuentas.

### 5.2.1 Identificación de ámbitos de intervención estratégica

En el contexto de un programa de políticas ambientales de largo plazo (*Plan*), esta investigación aporta bases para identificar áreas de oportunidad donde instrumentos de política ambiental “nuevos” (físico-espaciales) puedan detonar procesos que, en el corto y mediano plazos, mejoren la eficacia en la estabilización y reversión de desempeños ambientales insustentables. Denominamos a estas áreas como *ámbitos de intervención estratégica* para un DRS:

1. La ubicación de la RCM es crítica por la intensidad de las presiones antropogénicas que genera sobre los sistemas ambientales propios y aledaños. Pero su indiscutible especificidad estratégica, como se ha dicho, está en su ubicación como frontera-baja de transición entre las grandes biorregiones del país, neártica y neotropical, en esta última está localizada la basta biodiversidad de México.

Por este determinismo geográfico la RCM no puede planear su desarrollo en el largo plazo sin incluir en su destino a los estados aledaños. El potencial ambiental para el desarrollo se ha reducido severamente, la vulnerabilidad es alta (caso del agua) y cualquier escenario prospectivo sin cambio sustancial del vigente en la concepción de políticas públicas y de participación de la sociedad, son trayectorias de desarrollo que implican costos sociales crecientes y más dependientes de los factores ambientales.

2. Debido a que los recursos y servicios ambientales son prestaciones de la naturaleza dadas *in situ*, en su mayoría, las políticas de desarrollo sustentable tienen en el espacio regional un ámbito natural para la coordinación y la convergencia de acciones. Por lo que agentes, organizaciones e instituciones regionales deben ser más activos en la determinación del tránsito hacia una sociedad más sustentable ambientalmente. Todo parece apuntar a la construcción de un desarrollo sustentable sobre nuevas bases regionales: una *nueva institucionalidad regional*.

La tesis desde la cual se interpretan los *ámbitos de intervención estratégica* considera que los estados de la RCM no tienen posibilidades de resolver problemas ambientales de manera independiente, y que la vía puede pasar por la construcción de un *pacto ambiental* de largo plazo hacia dentro y hacia las vecindades inmediatas de la RCM. Para los estados y municipios implicaría ceder competencias y darle cuerpo a este nuevo aparato institucional, que sería la constitución de una *autoridad para la gestión ambiental regional* que integre competencias en materia de suelo, forestal, agua y el control de desechos.

Como autoridad, la agencia regional sería la instancia indicada para definir y

generar el consenso necesario sobre las *reglas institucionales de asignación o atribución de responsabilidades ambientales de las actividades humanas* de producción y consumo. Base de un mecanismo institucional de solución del conflicto ambiental interespacial. La fundación de un marco institucional para la región puede inducir ambientes de mayor certidumbre sobre los derechos de propiedad y, por ende, favorecer la creación de mercados ambientales regulados por esta nueva autoridad regional.

3. En la base de toda política ambiental debe estar un *Plan de Ordenamiento Ecológico del Territorio*, debe ser la norma y no la excepción, y se considera que un componente indispensable para ‘aterrizar’ en la escala espacial cualquier programa (*Plan*) de políticas ambientales.

Se considera que la planeación ambiental en México no opera o si lo hace, sus efectos son más azarosos que causalmente imputables a acciones en la materia. La razón, como se ha insistido, es porque no tiene instrumentos de política y en el plano regional las instituciones que los impulsen no existen o son muy frágiles y predomina la descoordinación por ausencia de autoridad<sup>149</sup>. A la escala regional habría mayores posibilidades de impulsar la planeación ambiental (espacial y física) donde los saldos netos de los flujos físicos deben ser los referentes reales contra los cuales medir el desempeño, en términos de sus consecuencias (impactos) ambientales, de las políticas públicas y la actividad antropogénica en general.

4. Con los planes de ordenamiento ecológico del espacio y los programas vigilancia y monitoreo de los SA alterados<sup>150</sup> por el desempeño ambiental de las actividades humanas de la RCM, debidamente incorporados al modelo de gestión ambiental adaptativo, es posible avanzar en el manejo integral de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) dentro de la RCM y, por extensión, del contexto de las regiones del país. Este ámbito intervención es trascendental porque se identificaron en la región áreas naturales dispersas o altamente fragmentadas (poblaciones de especies aisladas) que tienen como destino muy probable la extinción por baja densidad poblacional e insuficiente diversidad genética. Entonces, se trata de una “interfase” regional crítica que involucra grandes espacios ocupados por ecosistemas y sistemas productivos (primarios), intra e interregionalmente.

Con estos elementos es posible sugerir que una estrategia DRS contemple capacidades institucionales para identificar *bases de recursos* o capital natural crítico (CNC)<sup>151</sup> para las regiones de México. Simplemente se postula una intervención jerarquizada o política de conservación de los SA, donde las ANP sean núcleos para la ampliación de tipos de capital natural identificados como críticos, porque son recursos cuyo manejo es muy sensible y de él depende su permanencia, son dominados por procesos de regeneración natural sujetos a un alto riesgo de pérdida definitiva (irreversibilidad).

---

<sup>149</sup> Que en realidad es una expresión de traslapes en las competencias entre los niveles de gobierno.

<sup>150</sup> Con los cuales la región económica de interés fincó sus interdependencias o vínculos a través de corredores biológicos, zonas de transición y amortiguamiento.

<sup>151</sup> La definición del CNC y las posibilidades metodológicas para identificar sus tipos, con el fin de medir relaciones indicativas del tamaño de los impactos de las actividades humanas sobre los ecosistemas y componentes específicos que estén en situación de riesgo significativo, véase a: de Groot, (1992, 1994); Perk *et al*, (2000); P. Ekins y S. Simone (1999); y número especial sobre el tema en *Ecological Economics*.

Son recursos con fuertes características de bienes públicos (“puros”). En un contexto dominado por el conocimiento parcial e incierto, preservar la reproducción de bienes y servicios ambientales con estas características requiere de un modelo de intervención basada en mecanismos de asignación no sujetos exclusivamente al mercado. Una posibilidad alternativa es un modelo de gestión ambiental adaptativo de control por normas-umbral<sup>152</sup>.

Este núcleo básico, definido como capital natural crítico (CNC), es un ámbito por explorar. Se sugiere también que, un *criterio operativo de defensa selectiva en profundidad* para la conservación de acervos estratégicos de capital natural implicaría la aplicación de normas-umbral ambientales como las sugeridas en esta investigación. Lo cual complementa la perspectiva analítica asumida: un criterio de precaución en la base de un principio de sustentabilidad fuerte.

Sin embargo, esta propuesta no debe implicar el olvido del conjunto de otras acciones de política integral en muchos frentes de las actividades humanas. Con el fin de acotar el término ‘crítico’, se entiende que en el marco de un acuerdo social (pacto) y dado el estado del conocimiento en la materia, significará siempre hasta donde social, razonable y/o prácticamente sean alcanzables los objetivos de política que implican al CNC. No siempre lo razonable es viable en la operatividad directa.

5. Nuestra propuesta general ofrece también un contexto institucional favorable a la constitución de fondos regionales para el financiamiento de proyectos ambientales públicos, privados y sociales en la RCM. Con una estrategia general de reasignación de recursos orientados al gasto defensivo primero y que gradualmente se trasladen al gasto preventivo y de recuperación del capital natural, sería muy efectiva si fuese acompañada de Planes de Ordenamiento Ecológico. Aunque sea muy simple, el ordenamiento del espacio permite resolver problemas de contingencias naturales como “avenidas”, inundaciones, etc., que generan ahorros de recursos que de otra manera se destinarían a acciones remediales.
6. Aprovechar la oportunidad de los procesos de descentralización y ser más activos fiscalmente. Los gobiernos estatales y municipales, en conjunción con la nueva autoridad regional deberían promover reformas fiscales en sus espacios que, manteniendo el volumen de recursos recaudado, sustituya fracciones de impuestos al ingreso, al valor agregado, al empleo y a la inversión, por impuestos ecológicos que sirvan para alimentar y dar estabilidad a los fondos regionales propuestos. Así, pueden impulsarse modificaciones en los incentivos fiscales que orienten las decisiones de los agentes económicos en favor de una estrategia de DRS.
7. En coordinación con la autoridad federal del sector ambiental e INEGI, la nueva autoridad regional debería desarrollar su sistema de información económico-ambiental, desagregada al nivel que se requiera, con el objeto de concretar instrumentos de diseño y evaluación de política pública y fortalecer las capacidades de planeación ambiental (física y espacial). La nueva autoridad regional para la gestión ambiental sería la plataforma para la coordinación y la transversalidad regional y local de las políticas ambientales.

---

<sup>152</sup> Aunque es compatible con la propuesta de la OCDE (1998) en su *Environmental Outlook 2025*, sobre un sistema de banderas de niveles graduales de criticidad, consideramos que nuestra propuesta mejores posibilidades por explorar.



## 5.2.2 Planeación ambiental para el DRS en México

### i) **Elementos generales para la planeación ambiental física y espacial en México**

El desarrollo económico regional en México es profundamente desigual, pero desde el punto de vista del desempeño ambiental la insustentabilidad es generalizada. El problema fundamental en la concepción de un programa de políticas de DRS está en estructurar una combinación o 'mezcla balanceada' de instrumentos con orientación de mercado en un marco de planeación ambiental. Cada región requiere su propio balance, el cual precisaría el carácter complementario de los instrumentos disponibles. Por ejemplo, se considera que en espacios económicos menos desarrollados los componentes de la planeación ambiental (física y espacial) tendrían una presencia dominante en el 'balance' de instrumentos de política regional. Este es un rasgo esencial que determinaría el *carácter activo* que debería asumir la planeación ambiental en México.

Sin embargo, en todo balance regional de instrumentos habrá siempre elementos de control activo que ordenen y fomenten los desempeños ambientales eficientes, en el marco de una sociedad que se organiza ante fuertes rezagos institucionales. Sostengo que en México, la coyuntura es muy favorable para adoptar *políticas de intervención selectiva por control social* (gobierno y sociedad), de naturaleza distinta a las del tipo de control centralizado. Un control social que se oriente a los aspectos críticos del manejo de los SA, tal que, garantice las disponibilidades materiales para el desarrollo futuro de una región.

En la medida en que persista la vulnerabilidad de las instituciones asociadas a un sistema de mercados (derechos de propiedad y otras fallas), operar con estos mecanismos para la asignación de recursos naturales y disposición de los desechos, bajará el nivel de riesgo ambiental, se mantendrá bajo un mayor control la degradación de los acervos de capital natural y, por ende, se abran posibilidades reales de estabilizar y revertir estos procesos que genera el desarrollo regional.

Para un contexto así, de fragilidad institucional, este tipo de control social es posible con el desarrollo de nuevas figuras institucionales que legitimen formas de intervención (regulación) social entre niveles de gobierno y de la sociedad en general. No se trata de una noción de planeación ambiental centralizada, sino de la gestión social de nuestro patrimonio natural.

Es de esperar que ningún desempeño ambiental de SE regionales tenga que seguir necesaria y gradualmente una senda o trayectoria de desarrollo "natural", como la que parecería derivarse de la curva U-invertida (ambiental de Kuznets). Se considera que la fuerza interpretativa y las implicaciones de política que sugiere nuestra perspectiva analítica abre la posibilidad de explorar sobre sendas que incluyen en su evolución "saltos" o transiciones fuertes en los regímenes de desempeño ambiental de las regiones (estrategia que "quema" fases de desarrollo). Un programa de política que impulse una estrategia con este contenido requiere necesariamente de intervenciones sobre procesos estructurales de cambio tecnológico, aprendizaje y asimilación de experiencias de otros SE con desempeños más sustentables y procesos de cambio institucional.

Para ejercer el control o la intervención social es necesario poner en marcha un plan, el cual requiere como soporte informativo de un sistema contable muy completo que incluye variables de flujos y acervos físicos y conformen la base empírica para regular el desempeño ambiental sustentable de sistemas económicos regionales (abiertos); aquí es donde la clase de indicadores de desempeño ambiental obtenidos se usan como monitores de su evolución. Este

control permite tomar decisiones para vigilar y ajustar el proceso de desarrollo en el tiempo, mediante la adaptación periódica al conjunto de acciones de política ambiental, las cuales podrían incluir en el futuro un paquete de normas-umbral ambientales.

Ahora tenemos una mayor riqueza instrumental para procesos de control social (planeación), compatible con los de mercado, como mecanismos de asignación del capital natural y sus variedades. Es claro que un planteamiento de esta naturaleza sería inadmisibile si el punto de partida es un supuesto de mercado vs plan (procesos opuestos).

## **ii) *Hacia un sistema de planeación ambiental física y espacial para México***

En consecuencia, la planeación ambiental física y espacial impondría restricciones cuantitativas al sistema de mercados, pero el argumento extendido es que no bloquea las políticas ambientales con orientación de mercado. En la medida que buenos diseños de política contribuyan a definir mejor, institucionalmente, los límites de un sistema de mercados y de la actividad humana en general. Más bien, contribuye a amortiguar efectos de incertidumbre en las decisiones individuales y colectivas, como las asociadas a derechos de propiedad, e influiría en la reducción generalizada de los llamados costos de transacción.

Hay elementos entonces para prefigurar una estructura básica para un *sistema de planeación física (y espacial)* en México:

1. ***Modelo de gestión ambiental adaptativo.*** Un modelo que permita analizar procesos de interdependencia SE-SA, que incorpore al análisis las variaciones en el sistema físico de sustentación medidos mediante variables de flujos y acervos físicos (control)<sup>153</sup>.
2. ***Cambio institucional I.*** Conformar un *sistema social de señales* dentro del cual están los precios y las señales físicas complementarias para regular las variaciones en los flujos y acervos físicos, que sintetizan la información sobre el conjunto de transformaciones materiales que ocurren en los procesos de producción y consumo del sistema conjunto SE-SA.
3. ***Cambio institucional II.*** Creación de agentes e instituciones, entre ellas una *autoridad regional de gestión ambiental* que mejore el gobierno o control de los flujos y acervos físicos del espacio regional de interés.
4. ***Base empírica (Sistema observacional).*** Creación de un sistema de contabilidad física, compatible con los SCN, que permita sustentar los nexos entre actividades de producción y consumo y los flujos físicos que inducen. Son las “huellas” o presiones sobre los acervos de capital natural que genera funcionamiento de un SE.

---

<sup>153</sup> Como es ha insistido en el trabajo, es necesario explorar esquemas de planeación ambiental para lo cual es recomendable revisar el modelo de control vegetativo con señales de *stocks* a la Kornai-Martos (ver capítulo 2).

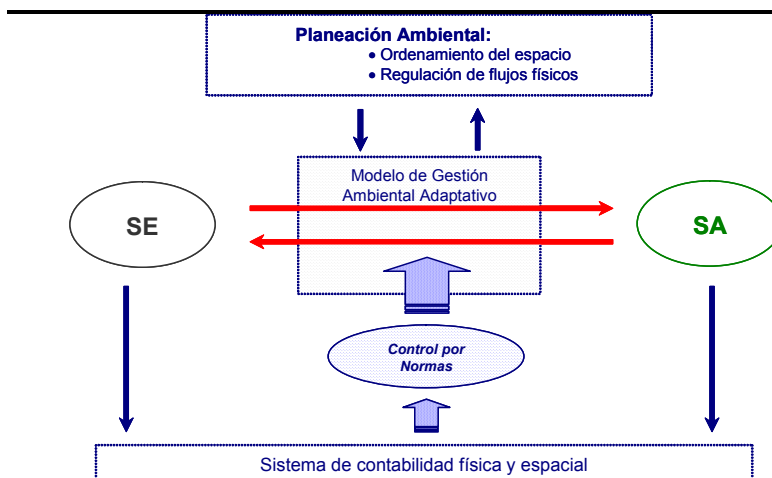


Figura 5.2-1. Modelo de gestión adaptativo y planeación ambiental

Concretamente, esta última actividad, diseño y puesta en marcha de un sistema de información económico-ambiental regionalizado en México, puede realizarla el INEGI con solvencia y bajos costos. En el Anexo II se presenta el análisis de los marcos contables, las tendencias en la investigación de punta en la materia y una recomendación para México. Éste sistema debe ser compatible con los tres sistemas de información de que normalmente disponen todas las naciones: económico, socio-demográfico y ambiental (Figura 5.2-2). Las fuentes de datos para la medición de los flujos y acervos físicos (ciclo) provienen de esta integración de sistemas de información nacional con la información que debería provenir de un *programa integral de monitoreo y vigilancia de los sistemas ambientales regionales*.

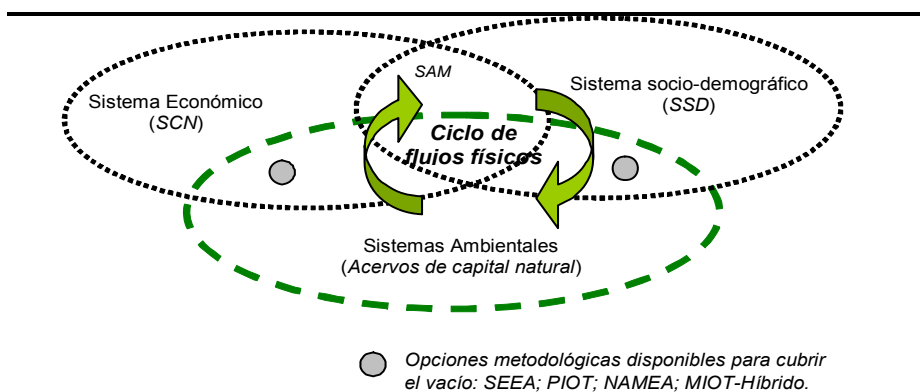


Figura 5.2-2. Sistemas de información nacional y el ciclo de la información sobre los flujos físicos (opciones cuantitativas)

En primer plano está presente la tesis de la EC-EC que considera la reducción significativa del *throughput material* empleado por cualquier sociedad, medido por sus requerimientos materiales totales (*RMT*), es un requisito indispensable para transitar a la sustentabilidad. Concretamente, se trata de una estrategia de desmaterialización y, empleada con selectividad en el manejo de sustancias tóxicas, de 'destoxificación' de los espacios

económicos de interés.

El sistema contable debería integrar la contabilidad física y de usos del suelo también, para que sea un instrumento adecuado en la medición confiable y más completa de los usos del capital natural y del espacio ambiental comprometido por las actividades humanas. Con la interconectividad de las relaciones SE-SA queda integrado el espacio a los flujos físicos y económicos mediante el “puente” que ofrecen los cambios en usos del suelo.

Por encima de que varias regiones compartan SA, los flujos materiales proporcionan el marco para identificar presiones ambientales generadas por la producción y el consumo final de cada región. Así, la evaluación de la actividad económica del conjunto de regiones debe permitir distinguir las contribuciones regionales a las extracciones totales de recursos materiales y a las disposiciones totales de desechos. Lo anterior representa un fundamento más objetivo para el análisis de las fuentes del conflicto ambiental entre espacios económicos determinados<sup>154</sup>.

Ante la desconfianza e incertidumbre persistente que generan las evaluaciones de política ambiental que descansan en metodologías y técnicas de valuación económica estrictamente, se proponen los análisis espaciales de flujos físicos como formas viables y muy sensible de control de los *stocks* de capital natural, más a los específicamente identificados como frágiles o críticos en un espacio regional.

Sin información y cuantificación confiable de los procesos económico-ambientales es imposible la evaluación de acciones de política sustentable, como lo pide la LGEEPA. Es indispensable la información complementaria que aportara un sistema de contabilidad física y espacial. El conjunto de indicadores derivados de un sistema contable más integrado formaría parte de un informe sobre el estado de la sustentabilidad de un espacio económico dado. Contendría la descripción “completa” de los flujos materiales generados y las variaciones en algunos acervos de capital del SE, e indirectamente, de los SA por acumulación de impactos. Por esta razón sería el instrumento básico para la gestión regional de la política ambiental en México, pues haría posible la transformación cualquier estrategia de DRS en un proceso evaluable.

Hacer viable esta propuesta requiere de la construcción de tablas I-O extendidas a cuentas ambientales (físicas) y la incorporación de valores (cálculos) sobre los flujos de comercio intra e interregional; para alcanzar este objetivo es básico lograr acuerdos sobre la metodología a utilizar. Por ejemplo, los gases de efecto invernadero y, en general, las emisiones gaseosas han generado sistemas de bases de datos internacionalmente muy compatibles, pero no ocurre lo mismo con las sustancias tóxicas, uso de recursos y usos del suelo<sup>155</sup>.

Finalmente, se requerirá siempre de muestreo y tratamiento estadístico confiable de la

---

<sup>154</sup> Si el ‘cálculo’ económico-ambiental se realiza mediante un SDA, las contribuciones regionales incorporan los efectos directos y la multiplicidad de efectos indirectos, usualmente significativos en magnitud (Lenzen M. *et al.*, 2003).

<sup>155</sup> En especial los rangos de compuestos cubiertos para sustancias peligrosas son muy variables. No obstante que las sustancias tóxicas son difíciles de estimar, existen técnicas para medir emisiones de contaminantes en general. Las bases de datos más amplias actualmente disponibles son el *Toxic Release inventory* (TRI de US-EPA) y el registro de emisiones en Holanda. Recientemente fueron compiladas para la industria norteamericana las emisiones de sustancias tóxicas, empleando toda la información institucional disponible, para conformar un *Missing Inventory Estimation Tool* y el número total de compuestos registrados ascendió a alrededor de 1,000 (Huppel, 2001; Suh, 2001).

información con el fin de que cualquier dato, antes de evaluarse en el contexto de una situación de conflicto ambiental, esté “libre” de dudas en cuanto al procesamiento de la variabilidad e incertidumbre asociadas.

### 5.3 Una opción al alcance: un comentario final

Con información de esta naturaleza el análisis teórico y aplicado adquiere otra dimensión, pues los flujos y acervos físicos se convierten en un “puente” empírico básico entre el análisis económico y el análisis proveniente de otras disciplinas como la biología y la ecología. Esta perspectiva de análisis integrado, que algunos denominan como el “metabolismo” del SE, transforma en posiciones viables y operativas políticas sustentables que han generado consensos en el mundo, como la sustitución y la desmaterialización (destoxificación)<sup>156</sup>.

Lo que se está proponiendo no es una empresa imposible y menos descabellada. A nivel de empresas son usuales los balances de materiales y energía, vienen desde la concepción del proyecto y, cuando se concretan, se vuelven parte del control y operación de los procesos productivos; esto es, son parte fundamental durante la vida de una empresa. Esta sería la base para construir distintos niveles de agregación de tipos de flujos físicos. Al nivel del sistema de contabilidad nacional y regional, estos instrumentos están iniciando en alrededor de 15 países de la Unión Europea y algunos otros como Japón y USA, pero la acción no es generalizada aún. En México no existen ni precedentes ni intenciones públicas de hacerlo.

Por su trascendencia como instrumento para la planeación y el monitoreo sobre la efectividad de medidas de política ambiental, la contabilidad y el análisis de flujos materiales a escala nacional y regional está creciendo en interés estratégico (por conflictos), como campo de investigación e instrumento para una gestión más eficaz que permita reducir la brecha entre el paradigma y la práctica de la sustentabilidad.

En síntesis, esta investigación de carácter aplicado (empírico), con fuertes nexos en el debate teórico actual, es importante porque tiene implicaciones de política pública ambiental de carácter estratégico para el desarrollo sustentable de las regiones de México. Se considera que el marco analítico propuesto puede extenderse al resto de las regiones del territorio nacional, con las dificultades propias de la carencia de información, y es un instrumento nuevo para la negociación del conflicto ambiental intra e interregional<sup>157</sup>.

---

<sup>156</sup> Los expertos en la materia sostienen que la contabilidad y el análisis de los flujos materiales representan el nexo esencial entre el paradigma y la práctica de la sustentabilidad (Bringezu and Moll, 1998).

<sup>157</sup> Se considera una propuesta analítica más “aterizada”, pero en la dirección de las tesis originalmente esbozadas por E. Provencio (1997), desde la perspectiva ambiental, como los rasgos deseados para el proceso de planeación: 1) perspectiva de mediano y largo plazos; 2) flexibilidad y una mejor información ambiental como factores clave; 3) responsabilidades ambientales compartidas entre varios ministerios; 4) corresponsabilidad con una diversa gama de actores sociales, y 5) definición de metas ambientales y de mecanismos para la presentación de cuentas por parte del gobierno (ver parte final del Anexo 0).

## **“Anexos”**

### **Contenido**

- Anexo 0 Descripción y diagnóstico generales (económico, ambiental e institucional) de la Región Centro de México (RCM)
- Anexo I. Sobre la dinámica SE-SA, un análisis cualitativo de estabilidad
- Anexo II. Análisis de flujos físicos, implicaciones para la construcción de sistemas de contabilidad económico-ambiental y “nuevos” instrumentos de política ambiental sustentable
- Anexo III. Variantes metodológicas en el uso del SDA para estimar vectores de intervención ambiental por actividades antropogénicas
- Anexo IV. Fuentes y procesamiento de la información: Matrices I-O y vectores ambientales para la RCM y el agregado nacional

## **ANEXO 0 Descripción y diagnóstico generales (económico, ambiental e institucional) de la Región Centro de México (RCM)**

### **Contenido**

- 1. Desarrollo desigual de las regiones en México: introducción general**
  - 2. Cambio económico regional**
    - 2.1 Cambios en la distribución del PIB nacional y comportamiento sectorial en la RCM**
    - 2.2 Desempeño económico regional: Un análisis de cambio-participación (ACP)**
    - 2.3 Comportamiento de la estructura económica regional: Un enfoque de encadenamientos productivos**
  - 3. Cambio ambiental regional**
    - 3.1 Disponibilidad, usos y calidad del suelo**
    - 3.2 Disponibilidad, usos y calidad de los recursos forestales y la biodiversidad**
    - 3.3 Disponibilidad, usos y calidad del agua**
    - 3.4 Generación y disposición de desechos sólidos y líquidos y situación de la calidad del aire**
  - 4 Cambio demográfico regional**
  - 5 Elementos para un diagnóstico institucional**
- APÉNDICE ESTADÍSTICO (en CD de soporte)**

## 1. Desarrollo desigual de las regiones en México: introducción general<sup>158</sup>

Este Anexo 0 contiene un diagnóstico sobre el estado actual y una breve evolución de la RCM, y agregado nacional, desde una perspectiva de *cambio regional*: económico, ambiental, poblacional e institucional, durante el periodo 1980-2000<sup>159</sup>. A diferencia de los estudios “clásicos” de economía regional en México y los más recientes para la RCM (Assuad, 2001, 2000; Delgadillo e Iracheta, 2002; Durán, 2002; Dussel, 1997), en algunos de los cuales domina el perfil económico, o los aspectos social-institucionales e históricos en otros, en esta descripción y diagnóstico se pone en el centro del análisis los procesos económico-ambientales que no ha sido integralmente explorados en el país; tienen la trascendencia de servir para apuntalar procesos de evaluación comparada de desempeños ambientales de los diferentes espacios económico-regionales del territorio nacional.

En un primer plano del análisis se colocan los aspectos empírico-estructurales en que descansan las tendencias del cambio económico, ambiental y social, que han determinado el *patrón de desarrollo regional de largo plazo en México*: insustentable históricamente, y muy desigual (polarizado) y paradójico en los ámbitos económico y social. Por lo tanto, este Anexo es crucial para dimensionar los hallazgos empíricos e interpretar los resultados obtenidos con la metodología de SDA (flujos físicos) propuesta en esta investigación.

### ***Proceso de desarrollo desigual en las regiones de México***

El espacio en el que se asienta la nación mexicana está partido en dos grandes regiones, desde el punto de vista ambiental y económico. Por el lado de la historia natural, es resultado del “accidente” de la evolución ecológica que conforma las dos grandes bio-regiones de México (neártica y neotropical), con una frontera de transición espacial localizada en el espacio de la meseta central (contiene en su mayor parte la RCM), aunque difusa e irregular para delimitar con precisión, pero suficientemente identificable en términos de las formaciones naturales o patrones de ocupación del espacio-suelo (Figura 0.1-1).

Por el lado de la historia de los procesos de desarrollo económico las tendencias son claras, la nación mexicana está “partida”, también, en una gran región Centro-Norte que concentra y domina la dinámica de crecimiento de la economía nacional en su conjunto, en oposición con la gran región Centro-Sur que acumula rezagos económicos y sociales.

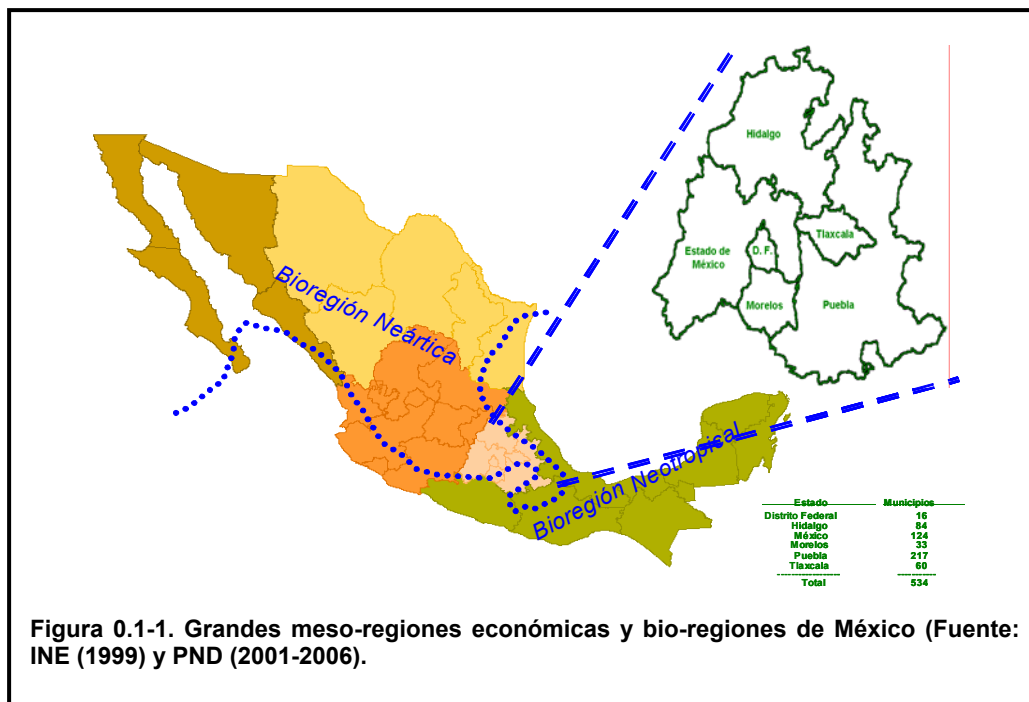
---

<sup>158</sup> Nota aclaratoria: Todas las figuras, tablas o cuadros que no aparecen en el texto principal de este Anexo 0, se encuentran en el Anexo Estadístico.

<sup>159</sup> El periodo amplio de análisis es de dos décadas, aunque la información fuente y procesada se ajusta a la disponibilidad y las necesidades de los instrumentos metodológicos de la investigación.



Tenemos un patrón espacial con una gran región Centro-Sur, que comprende esencialmente la totalidad de la bio-región neotropical, donde se localiza la mayor parte de la llamada megadiversidad de México y, por ende, es una región “rica” o con altos acervos de capital natural, pero muy “pobre” o con bajos acervos de capital antropogénico (producido y humano).

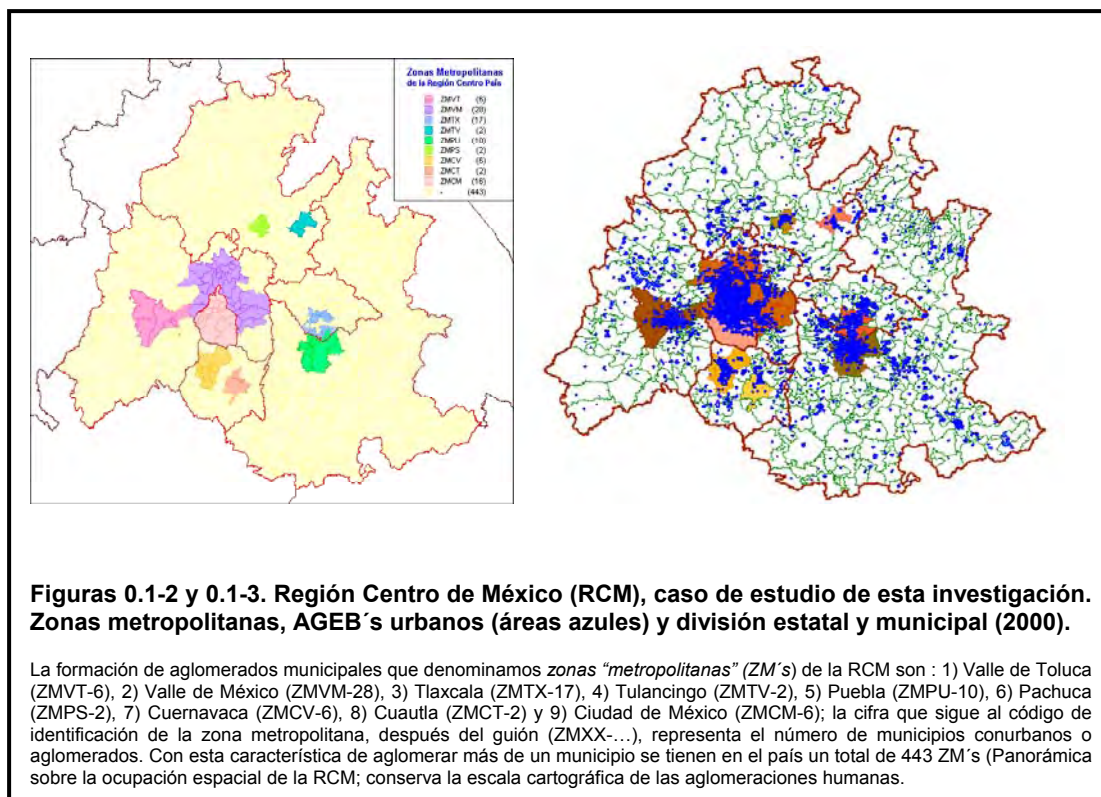


De manera contrastante, podemos afirmar que existe la otra gran región Centro-Norte, que comprende la totalidad de la parte mexicana de la bio-región neártica que desborda la frontera espacial hacia los Estados Unidos. Aunque los tipos de ecosistemas son diferentes, se considera pertinente agregar acervos de capital natural en términos cualitativos, medidos por la diversidad de especies, y cuantitativos, medidos por la biomasa. Así podemos sostener que se trata de una gran región “pobre” o con bajos acervos de capital natural, pero muy “rica” o con altos acervos de capital antropogénico (producido y humano).

Desde la década de los ochenta la formación regional del centro experimenta una transición en su patrón de crecimiento económico y poblacional, después de un largo periodo de fuerte centralización en todos los órdenes de la vida nacional. La estructura de ocupación espacial de la región ha evolucionado hasta conformar una red o sistema de ciudades multipolar, con una alta interdependencia entre las urbes más grandes y una actividad económica muy diversa, pero altamente concentrada en varios sentidos.

En el marco de este sistema regional de ciudades, la Ciudad de México, sin perder en ciertos aspectos su papel rector histórico, continúa lentamente perdiendo participación económica relativa a nivel nacional y dentro de la RCM, en la medida que surgen y se consolidan más

núcleos endógenos de crecimiento como las zonas metropolitanas y corredores industriales (por ejemplo, ZMVM-Valle de Toluca y Puebla-Tlaxcala); esto es, la Ciudad de México y la RCM se han refuncionalizado. El arreglo espacial conformado presenta varias zonas metropolitanas y áreas de influencia que aún no terminan por traslaparse, pero sus colindancias se reducen tan aceleradamente que, con cierta propiedad, se puede hablar de una zona “megalopolitana”<sup>160</sup>, por su alta interconectividad económica, social y política (Figuras 0.1.2 y 0.1.3).



## Insustentabilidad estructural e histórica de la economía de la RCM

Si alguna región del país ha sido históricamente insustentable en materia ambiental es la RCM. La acumulación del daño ambiental ha sido estructural y propia de patrones de desarrollo con fuertes rezagos tecnológicos, sociales e institucionales.

Desde una perspectiva integral, la ubicación de la RCM es crítica por la intensidad de las presiones antropogénicas que genera sobre los sistemas ambientales propios y en su vecindad. Pero su indiscutible especificidad estratégica está en su ubicación geográfica, ocupa toda la

<sup>160</sup> Véase Delgado J. *et al.*, 1997; Aguilar A.G., 1997; Bataillón, 1997.

frontera baja de transición entre las grandes bio-regiones del país, neártica y neotropical (Figura 0-1-1); en esta última descansa la existencia de la vasta biodiversidad del nuestro patrimonio natural. La RCM no puede planear su desarrollo en el largo plazo sin incluir en su destino a los estados aledaños; por ilustrar la interdependencia, en el caso del agua es crucial.

El potencial ambiental para el desarrollo se ha reducido severamente, la vulnerabilidad es alta y la herencia natural de la RCM es muy limitada, pues los saldos físicos son abiertamente desfavorables (sección 3).

En general se trata de una pérdida y degradación de su capital natural que tiene manifestaciones graves en: 1) la pérdida de la cobertura forestal y biodiversidad asociada, muy reducida ya, y la existente en situación de riesgo permanente; 2) degradación y pérdida de suelos, y 3) cuencas hidrológicas degradadas con pérdida de su potencial hídrico. Cualquier escenario prospectivo sin cambios sustanciales en la concepción de políticas públicas y de participación de la sociedad, son trayectorias de desarrollo que implican costos sociales crecientes y más dependientes de los factores ambientales.

Debido a que los recursos y servicios ambientales son prestaciones de la naturaleza dadas *in situ*, las políticas de desarrollo sustentable tienen en el espacio regional un ámbito “natural” para su potenciación.

### **Crecimiento y desarrollo económico regional en México**

Una forma agregada de sintetizar el desempeño económico de la RCM y las capacidades construidas en los estados que la conforman se puede realizar mediante un análisis de convergencia/divergencia, el cual nos aporta evidencias sobre la capacidad de disminuir disparidades en las tendencias del crecimiento económico dentro de la región<sup>161</sup>.

Este tipo de análisis permite evaluar las capacidades diferenciadas para aprovechar las oportunidades de beneficiarse durante las fases expansivas del ciclo económico o defenderse en mejores condiciones de los efectos recesivos de las crisis ocurridas durante el periodo de estudio --por ejemplo las crisis de 1986-1987 y 1994-1995. Existen varios estudios sobre las economías regionales en México, para diferentes periodos que concluyen sobre la evidencia empírica de disminución de las disparidades existentes en la distribución espacial del desarrollo durante la década de los setenta (Osuna, 1990; el más completo y reciente: en Fuentes F. A., Díaz-Bautista y Martínez-Pellégrini S. E., 2003).

---

161 La idea básica deriva del trabajo seminal de Barro y Sala-i-Martin (1991, 1995), aplica para conjuntos de países y dentro de ellos, para las regiones, o estados, y postula que los estados más pobres tenderán a mostrar tasas de crecimiento más rápidas que las entidades más prósperas, lo que implica una tendencia a la reducción de las brechas entre los niveles de actividad económica y sugiere un proceso de convergencia absoluta.

Para el periodo más largo de los estudios existentes (1940-1995), el trabajo en la materia confirma la tendencia a la convergencia absoluta regional e identifica dos fases: un proceso de convergencia relativamente rápido entre 1940-1960 y una atonía e, incluso, cierta tendencia a la reversión durante 1960-1995; la tasa promedio de disminución de disparidades regionales del periodo completo estimada fue de 1.2% anual, muy baja comparada con las experiencias de otros países, pero también en relación con la profundidad de los desequilibrios entre las regiones y estados del país (Esquivel, 1999).

En general, otros trabajos son consistentes con estos resultados, disminución de los desequilibrios regionales y la pobreza entre 1950 y 1980, periodo de vigencia del modelo de desarrollo hacia adentro o industrialización sustitutiva de importaciones, y deterioro de esta situación a partir de las reformas estructurales iniciadas en la segunda mitad de los ochenta (Carrillo, 2001; Arroyo, 2001; Esquivel, 1999; Fuentes A. *et al.*, 2003). Esta última referencia es el estudio más completo y reciente en México, muy recomendable para conocer en profundidad aspectos centrales de estas tendencias del crecimiento económico regional. Sin embargo, no existen evidencias irrefutables de una convergencia en los niveles de desarrollo entre regiones (como “Ley de hierro”)<sup>162</sup>.

Esta tesis descansa sensiblemente en los supuestos estructurales homogéneos entre las regiones y las únicas diferencias posibles están en las condiciones iniciales entre sus economías, entonces, las diferencias deben estar en los niveles de acervos de capital físico y humano. Sin duda, en México, una posible fuente de divergencia descansa en las disparidades en la formación de capital humano, mientras que otra muy viable apunta hacia las diferentes capacidades de gasto público, en infraestructura productiva e institucional<sup>163</sup>.

Tradicionalmente, la concepción de políticas de desarrollo regional ha tenido como objetivo principal corregir los desequilibrios ocasionados por el crecimiento económico centralizador. Incluso actualmente, a la política regional se le asocia cierta capacidad para reducir las desigualdades regionales en materia de desarrollo mediante impulsos exógenos dirigidos hacia regiones con problemas económicos estructurales. Muy a pesar de que la instrumentación de esta visión fue reiterativa en México y en América Latina, el contexto actual es significativamente distinto. La prolongada crisis fiscal del Estado mexicano dificultó la continuación de políticas de ese corte, no obstante de estar en duda la existencia de una franca política de desarrollo regional en México (OECD, 1997).

---

<sup>162</sup> Estudios empíricos sobre la experiencia de la integración europea muestran resultados más interesantes, ahí se constata que los países tienden a formar grupos con características homogéneas y diferentes velocidades de convergencia entre regiones (Quah, 1999). Conclusión más interesante para la experiencia de desarrollo regional de México, por las implicaciones de política económica, pues reconocer estos perfiles induce a instituir mecanismos de compensación pertinentes para evitar que estados rezagados se vuelvan obstáculos para una integración eficiente de mercados regionales.

<sup>163</sup> Tales tendencias generales de crecimiento económico regional de largo plazo se han concretado en una “foto” reciente que resume la estructura económica regional en términos de macro-variables fundamentales (Véase tabla 0.1-1).

Pero además, los gobiernos que empujaron las transformaciones económicas hacia el fortalecimiento del sistema de mercados, se olvidaron de atender de alguna manera las disparidades regionales que se profundizaron; algunos autores argumentan en favor de procesos evidentes de polarización (Unger y Saldaña, 1999; Dussel, 1997). No es fortuito entonces encontrar aseveraciones que sintetizan con nitidez el estado de las políticas públicas en la materia; un estudio reciente elaborado por la OECD sostiene que: "...México no tiene una política regional, sino políticas nacionales con fuertes implicaciones territoriales (política social, comercial, de investigación y de desarrollo)..." (OECD, 1997).

La cuestión regional ha pasado del viejo enfoque planificador y del enfoque geográfico-regional al social-individual (Alba, 1999). Ahora, desde la perspectiva del pacto federal, en los planes nacionales de desarrollo se incorporan los programas regionales con un horizonte casi no mayor al sexenal y la concurrencia de las jurisdicciones en la práctica se ha traducido en convenios de tipo administrativo en los que los estados se convierten en meros agentes de la Federación.

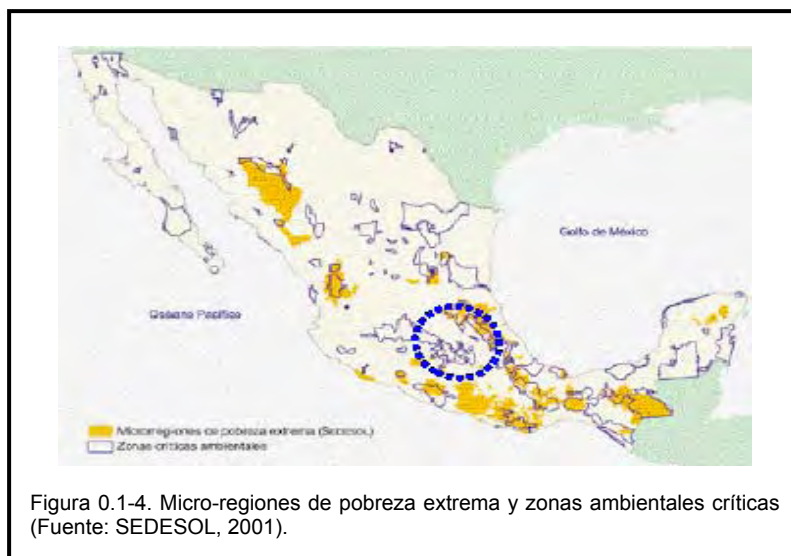
### *Polarización social y recursos críticos: distribución espacial de la pobreza y de los recursos naturales*

En México la RCM ha sido una de las regiones de mayor dinamismo hasta principios de los ochenta, aunque su patrón histórico de desarrollo económico y social ha estado marcado por una fuerte tendencia a la insustentabilidad ambiental. Los componentes causales son los propios a estructuras productivas y sociales subdesarrolladas, acompañadas siempre de grandes disparidades regionales que se reproducen o refuerzan por el rezago tecnológico, la desigualdad social y la fragilidad de las instituciones.

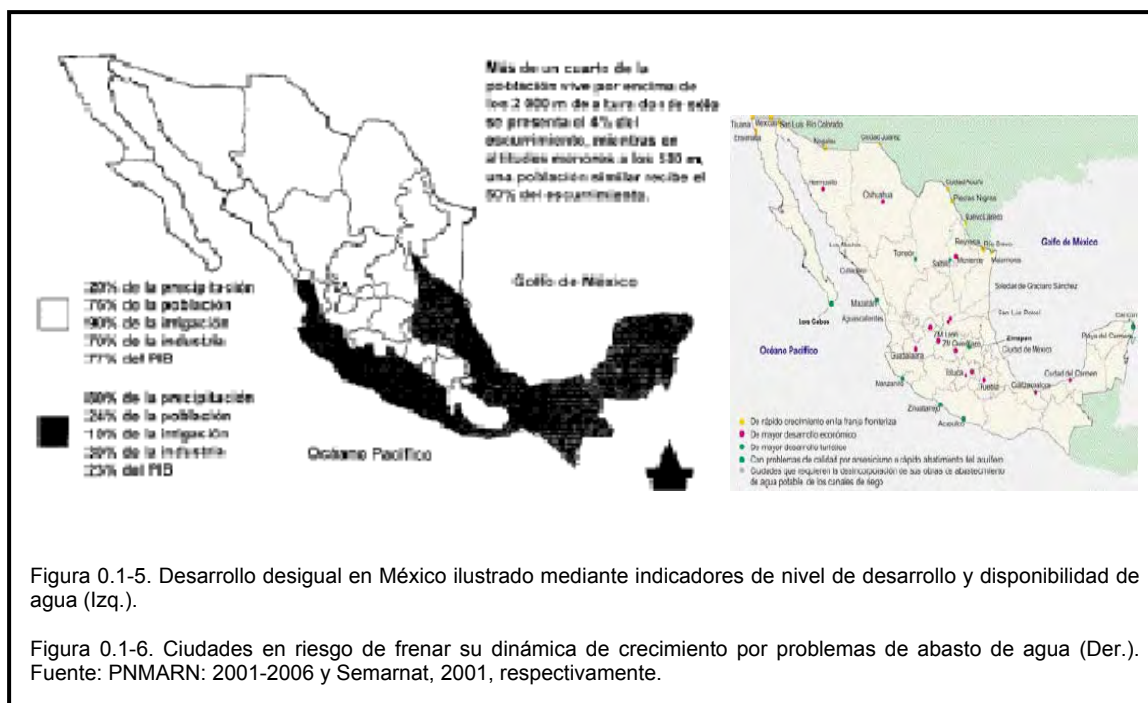
Las aglomeraciones humanas, industriales y de servicios han determinado la intensidad y el patrón de ocupación del espacio de la RCM. Se trata de una red de áreas urbanas centradas a la ZMCM, con diversa y alta especialización productiva, cuya expansión avanza sobre los suelos agropecuarios, bosques, pastizales y suelos sin usos productivos o definidos, seguramente por su baja calidad. Por el alto nivel de presión que este proceso genera sobre los sistemas ambientales, se puede afirmar que la RCM es una zona "congestionada", en la medida en que tales presiones se expresan en condiciones de mayor fragilidad para garantizar la continuidad del crecimiento de la actividad económica en el largo plazo.

Aunque en las secciones 3 y 4 se hará una exposición más documentada sobre el cambio económico y ambiental de la RCM; en las siguientes tablas y mapas cartográficos concentrados los elementos generales del diagnóstico, destacando la díada "inseparable" o alta coincidencia de asentamientos de población en condiciones de pobreza extrema en zonas ambientales con altas velocidades de pérdida de capital natural (críticas; Figura 0.1-4). Este es un problema estructural del tipo de desarrollo que no se aborda en este estudio, por tanto no se juzga la

aparente relación “causal” entre pobreza y degradación ambiental, pero se destaca como un problema central de él.



Especialmente las expresiones desiguales en indicadores sociales y ambientales, muestran una gran región Centro-Sur que concentra fuertemente las áreas donde se localizan poblaciones en extrema pobreza y, para los fines del desarrollo regional, los más bajos indicadores sociales directamente vinculados con la calidad del calidad humano.



Son muy recurrentes las evidencias sobre los fuertes sesgos del desarrollo regional en México, cuando se “mapean” indicadores de desarrollo (PIB, gasto en Infraestructura y población) en conjunto con un factor ambiental: disponibilidad de agua (nivel de precipitación y uso productivo en suelo de riego), el resultado vuelve a ser la polarización y distribución desigual de los recursos naturales. Es de notar la alta coincidencia espacial de la partición natural del territorio nacional en dos grandes bio-regiones, con un factor ambiental tan sensiblemente crítico como las disponibilidades de agua, la distribución muy desigual del desarrollo y de este recurso (Figura 0.1-5).

Con esta breve exposición se quiere destacar un aspecto de alerta de tal dependencia crucial del desarrollo económico regional de un factor ambiental como el agua. En la figura 0.1-6 se muestran las ciudades en riesgo de frenar su dinámica económica y social por alta incertidumbre para garantizar las demandas futuras de agua; son ciudades que pertenecen a entidades que concentran aproximadamente poco más de tres cuartas partes del PIB nacional (INE, 1999).

Así, en esta sección introductoria se sintetizan los elementos de una caracterización inicial sobre el patrón de desarrollo regional de más largo plazo en México, como un proceso estructural cuyos contrastes se resumen en términos de el estado de los acervos de capital (físico, humano y natural) en la tabla 0.1-2; por eso, se afirma que el desarrollo es de alta polarización y paradójico desde el punto de los procesos económicos y ambientales<sup>164</sup> que induce la actividad humana.

No obstante la herencia de un *stock* y calidad del capital natural muy disminuidos en la RCM, existen sospechas fundadas de que el desarrollo económico no tiene por qué estar necesariamente en conflicto con la gestión más sustentable de los ecosistemas. Se observa a nivel mundial y, nacional también, correlaciones positivas entre indicadores de desarrollo (PIB per cápita y competitividad) y de sustentabilidad (véase Cuadro de apoyo 1 siguiente).

<b>Tabla 0.1-2. Patrón de desarrollo regional en México</b>	
<b>Grandes Meso-regiones de México</b>	<b>Características generales del patrón polarizado de desarrollo espacial</b>
<b>Centro-Sur</b> (incluye parte de la RCM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo dinamismo en el crecimiento económico.</li> <li>• Altos acervos de CN.</li> <li>• Bajo acervo de capital humano (alta concentración de la pobreza).</li> <li>• Crítico por su bajo potencial de desarrollo que aumenta el riesgo de agotamiento del CN.</li> </ul>
<b>Centro-Norte</b> (incluye parte de la RCM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto dinamismo en el crecimiento económico.</li> <li>• Bajos acervos de CN.</li> <li>• Alto acervo de capital humano (baja concentración de la pobreza).</li> <li>• Crítico porque su alto potencial de desarrollo se pone en riesgo por problemas de abasto de un recurso ambiental como el agua, entre otros.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

<sup>164</sup> Como se verá en la exposición e interpretación de los resultados del análisis de desempeño sustentable de la RCM en relación con la economía nacional (Capítulo 4).

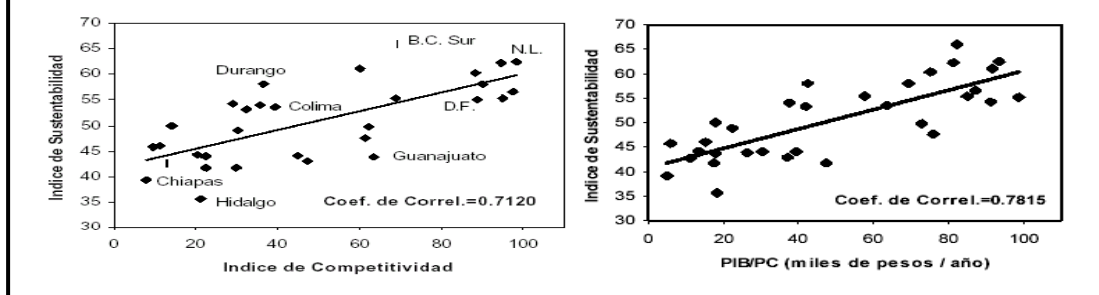
## 2. Cambio económico regional

La nación mexicana no ha sido ajena a los procesos comunes de cambio estructural ocurridos en las regiones principales del mundo. Se han documentado fuertes procesos de descentralización espacial de las actividades productivas entre los países y entre sus regiones económicas y nuevos encadenamientos productivos se han conformado a escala planetaria. La dispersión territorial de la actividad manufacturera ha sido acompañada por la concentración de las actividades de administración y control y de los servicios financieros. Y se han liberalizado sustancialmente los mercados de bienes, servicios y de capitales. La experiencia de unificación de mercados en la Unión Europea, por ejemplo, muestra procesos de intensificación de la aglomeración económica alrededor de grandes centros de población, de profundización de las disparidades regionales y de un fuerte dinamismo en las zonas fronterizas con los países cuyos mercados se integran.

### Cuadro de apoyo 1: Estudio de sustentabilidad por entidad federativa en México, según metodología ESI-2002.

Se toman resultados del primer estudio de su tipo en México, realizado por CESPEDES (2001), instrumentando la metodología del ESI-Report 2002 (última versión), muy compatible también con los trabajos en esa dirección que realiza UNCSO. Del estudio se extraen resultados importantes para la RCM: a) los índices de sustentabilidad son los más bajos del país, b) cuando se desagrega el índice, se presentan valores más bajos para el índice de presiones sobre el capital ecológico y el que mide el estado de ese capital, y c) para el componente de respuesta institucional y nivel de vulnerabilidad, los valores cubren toda la gama de posibilidades.

Figura 0.1-7. Sustentabilidad y competitividad en México (izq.) y Figura 0.1-8. Sustentabilidad y PIB per cápita en México (der.).



En la década de los ochenta la economía mexicana experimentó un quiebre sustancial en su rumbo, al detonar la crisis financiera de 1982 quedó manifiesto el fin del largo período de crecimiento hacia adentro cuyo impulso inicial provenía desde los años cincuenta --desarrollo estabilizador. A la postre se darían paso al conjunto de transformaciones económicas, sociales e institucionales que empiezan por el proceso acelerado de apertura de la economía al exterior. Tales cambios han impactado territorialmente a la nación y a la RCM en particular, aunque de manera desigual. Una característica de gran trascendencia para esta región ha sido la pérdida gradual de la capacidad rectora de la Ciudad de México y su conurbación, sobre el dinamismo de la actividad económica nacional y de nuestra región de interés.



Mientras que al inicio de los ochenta la política económica se formulaba aún con el gasto público como motor del crecimiento<sup>165</sup>, para finales de los noventa, las medidas de estabilización, ajuste estructural y reforma del Estado<sup>166</sup> habían cristalizado sus principales efectos, uno central era redimensionar la presencia del Estado en la determinación del crecimiento, y para esas fechas el motor principal del crecimiento había pasado ahora al sector privado nacional y extranjero.

En términos generales, se reafirma un patrón de disparidades regionales que consolidan centros económicos en estados cuya actividad ya había adquirido una presencia importante antes de la apertura comercial, con la excepción de los estados de la frontera norte del país, y el resto de los estados con desempeños económicos pobres que no les han permitido superar su situación precedente, de atraso histórico.

Esto es, las nuevas áreas de actividad económica del primer bloque son más dinámicas, algunas incluso que la tradicional zona metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), han mostrado una mayor capacidad para insertarse y aprovechar las oportunidades que se generan con las reformas económicas, y el segundo bloque, de entidades federativas con desempeños muy pobres, que abiertamente han resultado perdedores del proceso y, por lo tanto, han profundizado su situación de mayor atraso en el contexto nacional.

La industrialización, la urbanización, el crecimiento poblacional y la migración han sido los procesos motores del cambio en la RCM, han inducido una nueva dinámica económica regional donde las ventajas de localización, disponibilidad de capital humano, infraestructura, recursos naturales, impulso empresarial y fomento gubernamental locales son fundamentales para construir sus nuevas ventajas competitivas. Pero también, en estos procesos están las causas y la intensidad de generación de las presiones estructurales hacia los sistemas ambientales (SA).

Para perfilar lo que posteriormente será construido como la asociación o acoplamiento entre crecimiento económico (sectorial) y cambios (o presiones) ambientales de los espacios económicos (o antrópicos)<sup>167</sup> y naturales a considerar, necesitamos identificar y dimensionar las actividades de producción y consumo de la RCM. Esta sección 2 cubre ese objetivo, cuantificar el cambio económico regional mediante un acercamiento al problema de cuatro maneras:

---

<sup>165</sup> Donde la disponibilidad de recursos provenientes del petróleo eran la palanca fundamental del desarrollo; Poder Ejecutivo Federal, Plan Global de Desarrollo, 1980-82, SPP, México, 1980.

<sup>166</sup> Por ejemplo, estabilización macroeconómica, saneamiento de las finanzas públicas, privatización, apertura comercial, cambios en los precios relativos clave y las regulaciones económicas, fortalecimiento del ahorro interno y reforma del sector financiero.

<sup>167</sup> La noción de *espacio económico* implica un orden funcional y estructural que involucra variables de observación como población, ingreso *per cápita*, patrones de consumo y urbanización, tipos de cambio tecnológico y cambios de uso del suelo inducidos, entre los más importantes.

- 1) Se destacan los resultados más relevantes sobre las tendencias al crecimiento económico y desarrollo con base en un análisis de convergencia-divergencia<sup>168</sup>, expuestos al final de esta parte introductoria.
  
- 2) Una parte de descripción regional mediante indicadores de concentración/dispersión, especialización y desigualdad económica regional (sección 2.1).
  
- 3) Como nos interesa identificar las actividades económicas dominantes y las tendencias de sus cambio total estructurales, un acercamiento descriptivo sobre estos procesos de cambio económico regional pueden ser abordados con enfoques de estática comparada (sección 2.2), donde el análisis cambio-participación (*shift-share*) es la versión más simple de un análisis de descomposición estructural.
  
- 4) Se culmina con un enfoque de encadenamientos productivos para ubicar descriptivamente la estructura de actividades económicas de la RCM (sección 2.3).

## Tendencias económicas regionales en México

Las tendencias estructurales de crecimiento por regiones en México, que ofrecen la evidencia empírica sobre la desigualdad regional en niveles de desarrollo (medido por ingreso *per cápita*), para las muestras nacionales y regionales analizadas en los periodos de 1985-1993 y 1975-1993, pueden sintetizarse con los siguientes resultados: 1) verificación de la hipótesis de convergencia- $\beta$ ; 2) proceso de convergencia demasiado lento; 3) velocidad de convergencia similar. La estabilidad de este parámetro sugiere mecanismos de convergencia que operan con regularidad a nivel nacional y regional, se trata de un auténtico problema estructural. Todas son conclusiones coincidentes de cuatro trabajos de convergencia con focos de análisis diferentes: Fuentes A., Díaz-Bautista A. y Rodríguez A., 2003; Díaz-Bautista A. y Díaz M., 2003; Rodríguez J. A., 2003; León Arias A., 2003.

Hoy se dispone de evidencia empírica más consolidada de los procesos de integración de la comunidad europea de naciones y del TLCAN, para sostener que todo proceso de integración económica tiene efectos positivos sobre el crecimiento económico global de los países participantes, independientemente del modelo de crecimiento adoptado, sin embargo, el crecimiento no siempre conduce a una mayor convergencia real entre los participantes y menos aún entre sus regiones” (Martínez-Pellégrini, 2003). Indagar sobre los motores o determinantes

---

<sup>168</sup> Análisis dinámico derivado de los últimos desarrollos en teoría del crecimiento económico. Otras perspectivas de análisis se pueden encontrar con enfoque geográfico-espacial en Delgadillo e Iracheta (2002) y enfoque de desarrollo con centro en ‘ventajas competitivas’ en Ruiz y Dussel (2000).

del crecimiento que genera cambio económico regional y sobre los espacios más dinámicos del nuevo contexto nacional, son aspectos que analiza Martínez-Pellégrini (2003) revisando comparativamente la experiencia española de integración. Identifica tres factores que actúan en sentido opuesto a la convergencia regional en el caso del proceso de integración en América del Norte: *i*) inexistencia de fondos para disminuir asimetrías (desigualdades regionales del país); *ii*) ausencia de una auténtica política regional distinta de la sectorial; y *iii*) existencia de economías de escala crecientes (tipo crecimiento endógeno) estimulan la eliminación progresiva de barreras que puedan traducirse en mayor profundización de un proceso sostenido de polarización.

En el mismo sentido de la anterior conclusión están los trabajos de F. Alba y A. Díaz-Bautista (2003), aunque con focos de análisis distintos, dejar los procesos de crecimiento a la acción irrestricta del mercado conduce a más desarrollo desigual: una región Norte principal beneficiaria del TLCAN, un Centro que continuará “perdiendo” (o refuncionaliza) algunas ventajas competitivas y una región Sur, que profundizará su rezago con respecto al resto del país.

Un último grupo de trabajos, como era de esperar, encuentra evidencias relativas a que los actuales procesos de divergencia económica regional resultan fundamentalmente de las diferencias en productividad, estructura productiva y dotaciones de capital humano y físico (Mendoza E. Martínez G., 2003; Fuentes y Mendoza, 2003).

## ***2.1 Cambios en la distribución del PIB nacional y comportamiento sectorial en la RCM***

Los cambios en la participación relativa de los estados en el PIB nacional es un primer acercamiento al desempeño de las economías estatales durante un periodo largo (1980-2000). En términos de peso económico relativo, permite identificar las entidades ganadoras y las perdedoras de la reforma económica, los puntos de la comparación son 1980, antes del cambio estructural, y 2000, momento en el que los programas de reforma habían dejado ya muchos de sus efectos.

En estos últimos 20 años el cambio estructural generó condiciones para una “refuncionalización” que tuvo como detonar un proceso de descentralización económica (interna y externa a la RCM) que se ha expresado en una redistribución del PIB nacional equivalente a 9 puntos porcentuales en el periodo, casi del mismo monto de la participación del estado de México o, exceptuando al Distrito Federal y al estado de México, del conjunto estados restante de la RCM.

Existe evidencia empírica, que será referenciada en secciones posteriores, de que el reajuste en las contribuciones estatales al PIB total es un proceso de descentralización económica que ocurre, esencialmente, de la RCM hacia los estados del norte y centro del país; éstos ganan

casi el 70% de los 9 puntos del PIB estados como Chihuahua, Baja California, Nuevo León, Coahuila, Sonora y Tamaulipas, que se apropian de la mitad de los puntos, mientras que los estados del centro como Querétaro, Aguascalientes y Guanajuato lo hacen con el 19% de los puntos totales del PIB redistribuidos. Los estados con pobre desempeño o “perdedoras” se ubican en la RCM, con la contribución más significativa del Distrito Federal (28%), y en los estados del golfo y sur del país, sólo Tabasco, Veracruz y Chiapas representan el 62% del total de los 9 puntos del PIB de los estados perdedores (Tablas 0.2.1-1 a 0.2.1-3).

Aunque el comportamiento promedio de la RCM es con ‘saldo perdedor’, -2.27 puntos equivalentes al 25% de la pérdida total, internamente la resultante tuvo estos componentes: los estados que ganaron los 0.6 puntos del PIB fueron Morelos, Puebla y Tlaxcala; y los perdedores, con una gran pérdida en el Distrito Federal (2.54), ligera en el estado de México (0.22) y muy baja en Hidalgo (0.09) –véase tablas 0.2.1-2 y 0.2.1-3).

Cuando desagregamos sectorialmente estos movimientos observamos una ligera reconversión económica en el promedio regional y mucho más intensa en el Distrito Federal, aunque puede ser una ligera evidencia de un proceso de desindustrialización y especialización en servicios; se pierde fuerte en industria manufacturera, menos en la construcción, y se gana en servicios financieros, transporte y comunicaciones. Sin embargo, es muy probable que una porción de tal desindustrialización ocurriera como una descentralización de la actividad industrial hacia dentro y hacia fuera de la RCM –por ejemplo, Morelos, Puebla y Tlaxcala, que se muestran ganando en participación del producto manufacturero (Tablas 0.2.1-4 a 0.2.1-6).

Estructuralmente la RCM es una región urbana donde las actividades dominantes radican en la industria y los servicios, y un sector primario regional con menor peso que el promedio nacional, pero su aporte al producto estatal en todos los estados de la RCM es relevante (en promedio del 10%), con excepción del Distrito Federal.

No es extraño un comportamiento económico así, en el marco de una economía que se abre y desplaza hacia el sector externo gran parte de sus motores del crecimiento; cambian los criterios de localización de algunas actividades existentes y las nuevas se ubican en otras regiones como el norte de México.

Tanto para las nuevas inversiones de capital nacional como extranjero, se vuelven decisivos factores de ventajas comparativas que descansan en mano de obra barata, reducción de costos de transporte y oportunidad del abasto de mercancías de exportación al mercado norteamericano, en una estrategia evidente de explotar las economías externas que se derivan de una buena localización geográfica. Pero también, en un contexto de rápida apertura es muy probable que, simultáneamente, una parte importante de las industrias de baja productividad y orientada a mercados locales y regionales (tradicionales), fuesen compradas, fusionadas o que definitivamente desaparecieran.

## 2.2 Desempeño económico regional: Un análisis de cambio-participación (ACP)<sup>169</sup>

Para el conjunto de la RCM los componentes de crecimiento del análisis cambio-participación muestran para un primer momento, para el periodo 1980-93, la “rudeza” del cambio estructural y la ausencia de gradualidad en la instrumentación de las medidas efectivas de amortiguamiento del impacto al aparato productivo, se caen seriamente los componentes sectorial y competitivo del crecimiento regional, (presentan valores muy negativos, véase *ST-ACP*)<sup>170</sup>.

Se trata de los componentes en los que descansa el crecimiento sectorial propio de la economía de la RCM, cuyos determinantes están asociados a las fortalezas que da a los sectores de la región su pertenencia o ser parte de la estructura de la industria nacional, y los atribuibles a factores propios a la localización de la industria regional o los llamados también competitivos.

La tendencia fue una caída generalizada por sectores en todas las entidades de la región, aunque con excepciones en algunos sectores de estados en particular. Pero el impacto fue más severo para las actividades ligadas de manera directa a sectores productivos y en mucho menor medida para los servicios, los cuales fueron favorecidos por la apertura, la liberalización y desregulación; como ocurrió con la intermediación financiera. Esto terminó por definir la tendencia a la especialización en servicios financieros en el Distrito Federal y las capitales de los estados de la RCM.

El segundo periodo (1993-2000) es uno de continuación del ajuste para algunos sectores, los más tradicionales, y para los más competitivos de remontar y recuperar algún posicionamiento en los mercados nacionales y del exterior. Para la región se mejoran los valores para los dos componentes esenciales del ACP mencionados, aumentan o, dicho de otra manera, se vuelven mucho menos negativos, pocos sectores muestran cambios a valores positivos; un caso de estos es la división manufacturera de productos metálicos, maquinaria y equipo, que vuelve positivos sus dos componentes, y esto parece explicarse por la capacidad de recuperación del mismo sector en Puebla, porque en el resto de los estados el comportamiento es en contrasentido. De esta manera diferencial se puede ir explicando el mosaico de respuestas sectoriales de la RCM al cambio estructural, cuyo detalle no es objeto de nuestra investigación.

Estas dos tendencias ofrecen evidencias de un fuerte sesgo de industria tradicional aún, pues prácticamente todo impacto recayó en el sector manufacturero. El sector primario tiene poco peso y es, fundamentalmente, un sector tradicional también. Muy a pesar de que en la RCM se

---

<sup>169</sup> El ACP es la modalidad más simple que puede tratarse en el marco de la metodología general del Análisis de Descomposición Estructural (Apéndice 3.1 y Anexo III).

<sup>170</sup> Toda esta sección 2.2 las observaciones remiten a la serie *ST-ACP*. Identifica a la serie de tablas que resumen los resultados del ACP, para ambos periodos (1980-93 y 1993-2000), agregada para la RCM y para cada una de las entidades federativas. La serie va desde la tabla 0.2.2-1 a la 0.2.2-7 (a y b).

localiza el mayor potencial de innovación tecnológica del país (Unger, 2001; 2000; 1999; y Cimoli, 2000). Y un sector de servicios, donde se dieron ganancias, producto de una estrategia inmediata y de mediano plazo para enfrentar el ajuste estructural, reubicación de capitales hacia estas actividades que terminaron por consolidar la tendencia que permanece durante el segundo periodo (1993-2000): la concentración relativa del sector Servicios.

Hacia el interior de la RCM, en los estados se documenta el proceso por la capacidad diferenciada para enfrentar el acelerado cambio estructural de la economía nacional. Sin duda que ocurrió un proceso de redistribución de actividades económicas como primera respuesta al cambio regional y un posterior ajuste para enfrentar en mejores condiciones la competencia internacional. Un estudio similar de ACP de los últimos 30 años para la RCM, con mucho detalle muestra resultados congruentes con los arriba expuestos (Olivera y Guadarrama, 2002)<sup>171</sup>.

Lo anterior se afirma porque la intensidad de los efectos fue muy diferenciada, las economías más fuertes de la RCM fueron las más alteradas, es el patrón que presentan el Distrito Federal y el estado de México, aunque muchos menos intenso en éste. Para los cuatro estados restantes de la RCM el desempeño fue mejor, realmente algunos de ellos resultaron ser favorecidos del cambio estructural, en un primer momento. Si tomamos en consideración los indicadores de efecto sectorial y competitivo, en orden decreciente de buen desempeño están: Tlaxcala, Morelos, Puebla e Hidalgo.

Sin embargo, todas las economías estatales de la RCM siguen siendo en alguna medida arrastradas por una inercia nacional sobre la cual no se tienen controles institucionales al nivel de la escala meso-regional, se habla del aparato productivo con el mayor potencial industrial en el país por la diversidad y concentración de las actividades económicas.

### ***2.3. Comportamiento de la estructura económica regional: Un enfoque de encadenamientos productivos***<sup>172</sup>

Este análisis ofrece una descripción de la estructura productiva de la RCM mediante los multiplicadores de insumo-producto (directos, directos e indirectos y ponderados) de cada una de las economías de la región, se estiman los encadenamientos productivos “hacia atrás” y

---

171 De este estudio es interesante una periodización muy conocida y se recupera como elemento para el diagnóstico. La RCM ha sido el ámbito territorial a partir del cual surge y se consolida la industrialización por sustitución de importaciones (ISI) en el país, experimenta un ciclo industrial con las siguientes características: 1) entre 1970-1980 ocurre una fase de alto crecimiento, pero con inestabilidad y desaceleración de la actividad manufacturera (culminación de la ISI); 2) de 1980-1988 se observa una fase de crisis económica y franca desindustrialización; 3) breve fase de reactivación industrial entre 1988-1993, promovida por el intenso flujo de capital externo y el efecto de las políticas de cambio estructural; 4) entre 1993-1996, nueva fase recesiva inducida por la crisis de 1995 (Olivera y Guadarrama, 2002).

172 Todos los resultados obtenidos de este enfoque se resumen en la serie de tablas y figuras STF-EP, contiene las figuras 0.2.3-1 a 0.2.3-9 y las tablas 0.2.3-1 a 0.2.3-2b.

“hacia adelante”; los primeros expresan a dependencia de un sector de actividad respecto de los insumos que le proporcionan otros y, los segundos, miden la dependencia del abasto de un sector hacia el resto de las actividades de la economía en estudio.

Esto nos permite “mapear” la estructura económica estatal e identificar una tipología con cuatro grupos de comportamiento económico: sectores clave, proveedores, sectores con capacidad de arrastre y los tradicionales. Con la desagregación propuesta, se confirma una estructura económica regional con el mejor posicionamiento en sectores clave para grandes cúmulos de empresas en las industrias química y de productos metálicos, maquinaria y equipo (divisiones 5, 8, 7 de industria manufacturera G.D. 3), con desplazamientos durante el periodo que mejoran su posición competitiva dentro del cuadrante I.

Este motor del crecimiento regional se observa acompañado del otro gran potencial económico de la RCM, su diversidad de industrias y actividades económicas de arrastre y de proveedores; a mayor diversidad de actividades económicas de un sistema, más probable es que se engendren en él innovaciones tecnológicas (Unger, 2001 y Cimoli, 2000).

En efecto, una pista sobre la conectividad entre las redes industriales de la región se estima con el posicionamiento de los sectores localizados en los cuadrantes de proveedores (II) y con capacidad de arrastre (IV). Como sectores proveedores para la RCM se identifican el comercio, sector primario y servicios en general (grandes divisiones 6, 1, 9, 7 y 8); como sectores de “arrastre” aparecen la industria textil, de bebidas y alimentos, la construcción, las industrias de la madera y el papel, fundamentalmente; el grupo restante está en el cuadrante III o de sectores tradicionales u orientados a la demanda local.

La tendencia de los desplazamientos de estos tres grupos de sectores se da dentro de los cuadrantes donde se ubican, pero la orientación ligera hacia el cuadrante III de algunas industrias, hacia los sectores con peores perfiles competitivos, obedece tal vez a que en los cúmulos en II y IV están también diseminadas industrias con bajos perfiles tecnológicos y que comparten una importante proporción de industria tradicional con el grupo III<sup>173</sup>.

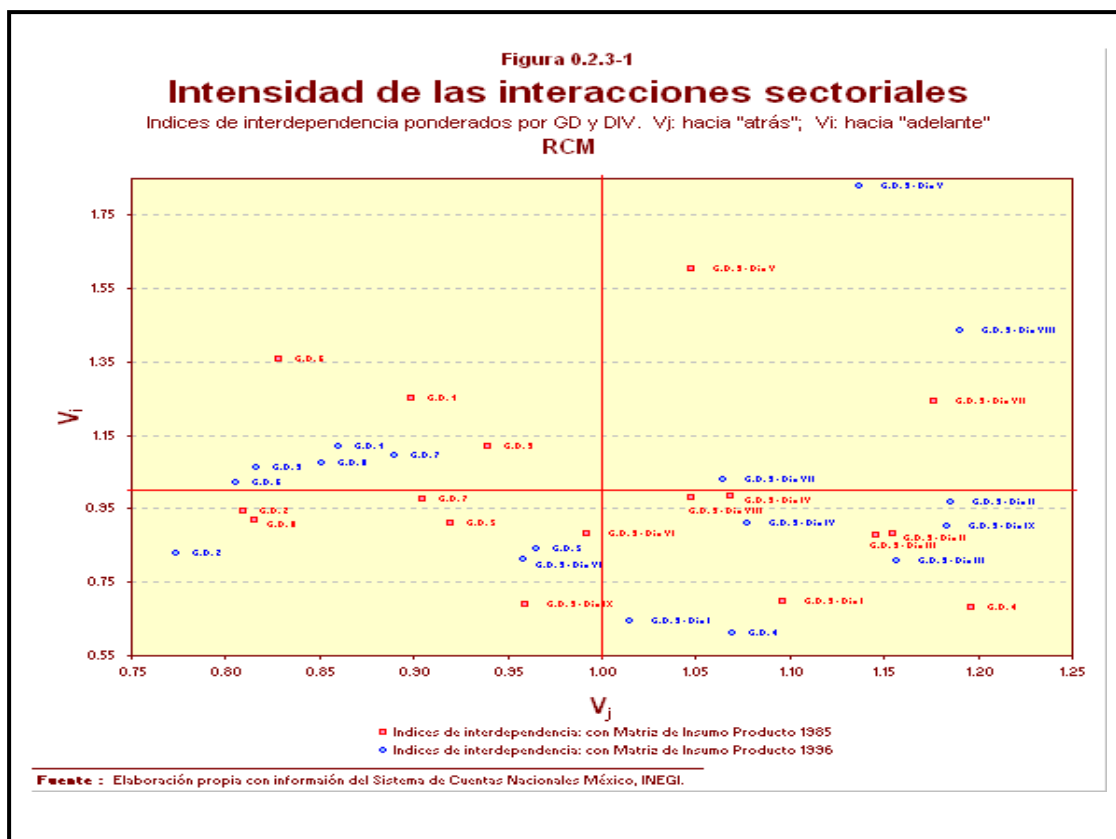
En consecuencia, parece haber evidencias para interpretar la estructura económica regional con un significativo grado de integración, como ocurre en los sectores estratégicos o clave (cuadrante I), con un peso significativo en la generación del producto, pero acompañados necesariamente de sectores proveedores y de arrastre (cuadrantes II y IV), también con un gran peso económico<sup>174</sup>.

---

<sup>173</sup> Esta es la línea de interpretación a seguir para todos los resultados obtenidos del análisis de multiplicadores realizado.

<sup>174</sup> En un esquema de fomento se trataría entonces de empujar los sectores de las economías estatales mediante políticas de desarrollo regional, lo más alejadas del cuadrante III, pues cualquier movimiento de los cúmulos de empresas en esa dirección mejora el posicionamiento competitivo del estado. Serían economías que tuvieran el menor número posible de sectores en III, pero además, con el peso económico mínimo.

En general, la evaluación de los diagramas de dispersión para cada estado permite precisar más las fortalezas productivas de ellos. En los mapeos sobre las estructuras económicas por estado destacan con tendencias positivas Puebla, Tlaxcala, estado de México y Morelos, con una muy probablemente buena interconectividad entre la diversidad económica existente. Una muestra del tipo de “mapeo” que concentra los encadenamientos para la RCM en los años de 1985 y 1996 se puede ver en la figura 0.2.3-1.



Para complementar un enfoque estructural que aporte más elementos para las recomendaciones de política regional sería pertinente realizar también una estimación de los efectos de las economías externas de aglomeración y de diversidad para el nuevo patrón de localización industrial de la RCM y las diferentes regiones con las que mantiene vínculos fuertes; un estudio similar de estimación de estos efectos externos se encuentra en Mendoza E. (1998).

### 3. Cambio ambiental regional

Esta sección, central para la investigación, tiene como objetivo general realizar un diagnóstico de las presiones ambientales sobre los recursos naturales de la RCM. Se trata de un análisis a escala meso-regional, organizado en torno de los cuatro recursos de base en que descansan la



mayor parte de los bienes y servicios ambientales de que disponen los habitantes de la región: 1) suelo, 2) cubierta vegetal (forestal), 3) agua (insumo) y 4) las funciones sumidero de los sistemas ambientales (bosques, cuencas, etc.) propios y aledaños a la RCM; estas últimas son funciones ambientales indispensables para la disposición final de los desechos generados por sus aglomeraciones humanas, industriales y de servicios en general. Se aborda teniendo en mente el ciclo de los recursos: fuentes-usos-disposición espacial.

Existe consenso en el mundo de que la sustentabilidad implica restricciones a ciertos estilos de apropiación humana del patrimonio natural y que depende de: i) el estado (nivel y calidad de los acervos de los sistemas ambientales (por ejemplo suelo, aire, agua y ecosistemas varios); ii) las presiones antrópicas sobre esos sistemas (explotación de los recursos y emisión de desechos) e intensidad de los cambios ambientales que inducen; y iii) las capacidades institucional y social para responder al reto de construir sociedades sustentables (esquema de *Estado-Presión-Respuesta*).

Los patrones de apropiación humana del espacio, particularmente el suelo, son indispensables y cruciales para realizar un estudio ambiental de escala y en perspectiva. El suelo tiene la especificidad de representar la base material y espacial de soporte para el conjunto de formaciones naturales constitutivas de los ecosistemas de distinta escala y naturaleza. La dimensión espacial vista así, constituye una base para un enfoque metodológico de *capital natural crítico*; su potencial analítico radica en que se pueden identificar fragilidades ecológicas, por tipos específicos, y aportar información crítica para realizar ajustes oportunos a los procesos de determinación conjunta económico-ambientales que están comprometiendo capital natural para el crecimiento económico.

La gran utilidad de un análisis en esta perspectiva se encuentra en que las prácticas productivas y de consumo con alto impacto ambiental pueden identificarse con mayor precisión. Permite acercarse a procesos dinámicos de mediano y largo plazos, como los de deforestación- uso agropecuario-erosión- degradación productiva (abandono), que terminan degradando aceleradamente los acervos de CN acumulando pérdidas de funciones ambientales. Vuelve escaso el CN y, por ende, lo convierte en restricción severa (factor limitante) para el sostener el crecimiento económico de largo plazo; caso del agua para la RCM y el área centro-norte no es sólo para la ilustración, sino un proceso real que evidencia signos de alarma y, por tanto, crítico para el desarrollo sustentable<sup>175</sup>.

Por esa razón fundamental empezamos el análisis del cambio ambiental regional con el análisis del factor suelo, usando la información disponible sobre la dinámica de cambio de usos del suelo en México (IG-UNAM-INE, 2000).

---

<sup>175</sup> Según el Plan sectorial de medio ambiente (PNMARN 2001-2006), más de treinta ciudades ubicadas en la meseta centro-norte del país, en las cuales se genera un poco más de 75% del PIB está en riesgo su crecimiento sostenido futuro porque no está garantizado el abastecimiento de agua: un solo factor ambiental limitando el potencial de desarrollo nacional y regional.

*Pausa metodológica: Sobre la clasificación de las ocupaciones del espacio (usos de suelo)*

Vamos ahora a realizar una medición del *stock* de CN a partir de los estudios disponibles sobre la dinámica del cambio en el uso del suelo, donde las diferentes categorías de formaciones naturales sirven como variables “proxies” para identificar tipos y montos (probables) de tipos de *stock* de CN. Del estudio base, sobre cambios de uso del suelo (IG-UNAM-INE, 2000), podemos emplear los niveles de formación y tipo de vegetación para realizar una reclasificación, cualitativa pero no frágil para el objetivo, definida mediante un criterio: nivel o grado de intensidad de la *intervención humana* (perturbación) que ocupa “productivamente” algunas categorías de uso del suelo del estudio.

La escala de jerarquización original queda definida por dos cotas extremas. Una de mínima intensidad en la perturbación de las formaciones naturales y que está asociada a las áreas de bosques y selvas de alta calidad (alta densidad de la masa forestal, digamos con valores “cuasi-cero” en la intensidad, ecosistemas “prístinos”); y la otra cota, de máximo nivel de perturbación (intensidad de la intervención humana) asociada a la categoría “Otras coberturas”, que involucra esencialmente a las áreas urbanas (asentamientos humanos, digamos “cuasi-uno” en la intensidad). Entre estos extremos, se vuelve más difícil la clasificación porque la información es insuficiente como para definir con suficiente precisión algún criterio para construir una escala más completa<sup>176</sup>.

Sin embargo, es evidente que en el orden en que se presentan desde los bosques y selvas hasta los pastizales naturales podría considerarse que la perturbación humana sobre los ecosistemas asociados a dichas formaciones es mínimo, aunque nunca homogéneo, presentan distintas graduaciones. A partir de pastizales inducidos tal intervención empieza a ser creciente hasta muy elevada o intensa para el caso de los usos agrícola y forestal (categorías “agricultura de temporal, riego y humedad” y las “plantaciones forestales”), hasta los asentamientos humanos (áreas urbanas) donde la transformación del hábitat local ha sido máxima.

Con en este criterio de intensidad de la intervención humana se hace la siguiente reclasificación en tres categorías cualitativas:

- 1) Identificamos como el acervo de capital natural, propiamente, el asociado a sistemas naturales únicos y ligeramente modificados, que se hacen corresponder aproximadamente con las formaciones de bosques y selvas de todo tipo, vegetación hidrófila y pastizales naturales.

---

<sup>176</sup> El nivel de *intervención humana* está asociado también al uso de factores productivos (trabajo y capital) cuyo nexo con el nivel de perturbación no está asociado necesariamente al uso intensivo de algún factor ambiental; prácticas productivas intensivas en capital no tienen por que ser más devastadoras que las asociadas a otras con uso intensivo en trabajo, el tipo de tecnología es fundamental para finalmente determinar el nivel del impacto ambiental; el sector primario es un buen ejemplo para esta observación.

2) A las categorías de “matorrales”, otros tipos de vegetación y áreas sin vegetación aparente, donde se localizan los suelos abandonados o sin uso productivo, regularmente observados, las clasificamos como *suelos de baja productividad*; un poco para recordar que son áreas potenciales o susceptibles de restauración ecológica con algún tipo de cubierta vegetal que permita preservar el suelo (o volverlo) como un tipo básico de capital natural.

3) Y, finalmente, está la categoría que agregamos bajo la denominación de *formaciones antrópicas*, involucran los usos agrícolas y ganaderos (área de pastizales inducidos y cultivados) y las concentraciones urbanas

### *Una evidencia empírica fundamental en la RCM sobre la “dinámica” regional del acervo de capital natural*

Los saldos netos regionales, en términos de los recursos de base, siguen siendo poco favorables: altos niveles de degradación de suelos, un poco más severos que el promedio nacional; altas tasas de pérdida forestal en relación con el tamaño del espacio regional, reducción de la disponibilidad real de agua para usos humanos, y generación intensa de desechos por la densidad poblacional y de las actividades económicas de la región. En la RCM no se ha logrado revertir las tendencias ambientales y menos alcanzar prácticas “equilibradas” en la apropiación de su patrimonio natural.

En México ha madurado un sector ambiental que estructura sus acciones de política en prácticamente todos los frentes, aunque todavía no se sabe con certeza la eficacia y eficiencia de cada una de ellas. Por supuesto que son importantes los avances alcanzados, pero tal vez sean tantas y tan fuertes las externalidades y las fallas institucionales que los esfuerzos de las políticas ambientales, aunque correctas, sean insuficientes para revertir procesos de escala regional; o tal vez los esfuerzos sean tan recientes como para mostrar ya la contundencia de sus efectos.

La siguiente evidencia cartográfica<sup>177</sup> (Figura 0.1-3) se emplea como el fundamento empírico del problema estructural más severo para la RCM, colocando como núcleo de la investigación un enfoque de CNC. Se trata de la mejor “medida” disponible de un aspecto sobre el *estado* de la RCM, de la cual se extrae el diagnóstico crítico siguiente: alta densidad y dispersión de los asentamientos humanos asociada con una muy alta probabilidad de existencia de fuertes procesos de fragmentación de los sistemas ambientales (hábitat) de la región<sup>178</sup>.

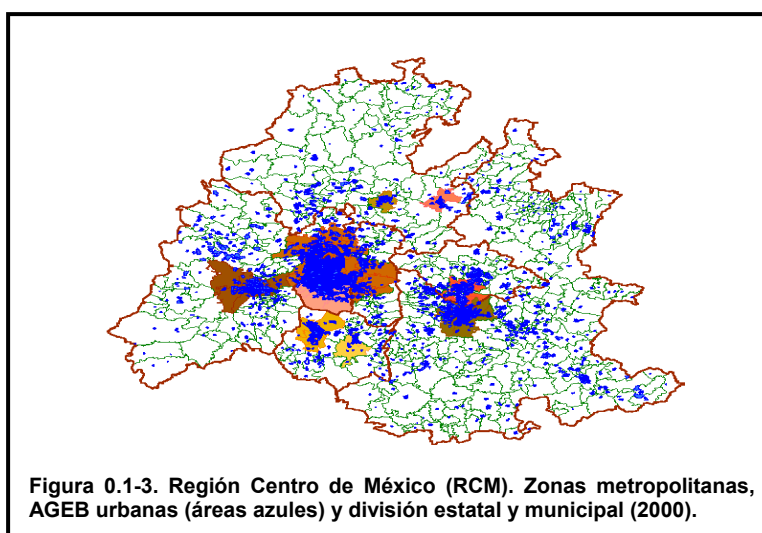
---

<sup>177</sup> El mapa conserva la escala de las áreas identificadas; elaboración propia con información cartográfica disponible oficialmente.

<sup>178</sup> Sobre la importancia crítica de este “efecto Hall” véase la sección sobre discontinuidad ecológica o fragmentación del hábitat en el Capítulo 2.

El nivel de riesgo asociado al que está expuesto el patrimonio natural de la RCM es mayúsculo; esta alerta regional se sustenta en que existe un proceso de muy *alta fragmentación* que implica un escenario ambiental de pérdida segura de especies del *stock* de capital natural<sup>179</sup>.

En el mapa regional (Figura 0.1-3) se identifican las nueve zonas metropolitanas y se precisa el área ocupada por los asentamientos; para su identificación se emplea el indicador más confiable del cual se dispone: las AGEB urbanas. La idea es simple, cada AGEB es una aglomeración que genera presiones ambientales en todas las direcciones del espacio regional, su intensidad está determinada por el tamaño y complejidad de estas formaciones antrópicas. Si incluimos las áreas apropiadas para las actividades humanas en general (agricultura, ganadería, etc), el efecto visualizado en el mapa sería mucho mayor, lo cual apunta en el sentido de la observación empírica principal (fragmentación ecológica).



Para detallar más este proceso crítico que fragiliza el potencial de desarrollo regional, complemento con los resultados presentados en las Tablas 0.3-1, 0.3-2 y 0.3-3. De manera dominante la mancha antrópica avanzó sobre las formaciones con CN. En la década de los noventa se expandió a costa de 85% de la pérdida de *stock* de CN y 15% sobre los suelos de baja productividad o “abandonados” (SBP) de la región; en el periodo precedente (1976-1993) el flujo anual de suelo perdido fue de menos de un tercio del correspondiente al periodo (1993-2000) --387.4 vs. 117.7 km<sup>2</sup>/año, esto es, la tasa se ha acelerado más de tres veces<sup>180</sup>.

<sup>179</sup> Escenario ecológico irreversible de los llamados “muertos vivientes”; especies condenadas a desaparecer por muy bajos niveles de densidad poblacional.

<sup>180</sup> Para evitar alguna confusión, la agregación de tipos de formación natural que provienen de la información cartográfica utilizada son: 1) en *stock* de CN se agregaron bosques, selvas y pastizales naturales y 2) en el extremo, las formaciones antrópicas, áreas ocupadas intensamente por las actividades humanas, se incluyeron asentamientos humanos, agricultura, ganadería, esencialmente.

Tabla 0.3-1. Cambios en las formaciones natural y antrópica de la RCM y el agregado nacional (1976-2000)

	Cambio anual del suelo (en km <sup>2</sup> /año)			
	RCM		NAL	
	(2000-1993)	(2000-1993)	(1993-1976)	(1993-1976)
Stock de capital natural (CN)	-387.37	-12,220.65	-117.69	-1,773.53
Suelos de baja productividad (SBP)	-67.77	-2,436.65	-81.98	-1,269.36
Formación antrópica	428.09	15,370.47	187.84	2,909.13
Variación estadística	-27.04	713.18	-11.84	-133.76

Tabla 0.3-2. Contribuciones relativas a los cambios entre las formaciones natural y antrópica de la RCM y el agregado nacional (1976-2000)

	Contribución al suelo transformado (en fracción por uno)			
	RCM		NAL	
	(2000-1993)	(2000-1993)	(1993-1976)	(1993-1976)
Stock de capital natural (CN)	0.85	0.83	0.59	0.58
Suelos de baja				

La mancha antrópica aumentó su demanda de espacio 2.3 veces el flujo anual promedio del periodo precedente; con esta velocidad de expansión cada 3.5 años ocupa una superficie igual al Distrito Federal (1479 Km<sup>2</sup>/428 (Km<sup>2</sup>/año); o con el monto de pérdida de *stock* de CN en 3.8 años se perdería ese mismo espacio. Comparado con la tasa promedio de 1976-1993 cuando en 12.5 años se perdía *stock* de CN del tamaño del Distrito Federal y la mancha antrópica se expandía en 7.9 años ese mismo tamaño.

Tabla 0.3-3. RCM: Años requeridos para ganar o perder el espacio de referencia (área del D.F.)

	1976-1993	1993-2000
Pérdida de stock de capital natural (CN)	12.50	3.80
Ganancia en formaciones antrópicas	7.90	3.50

En conclusión, es muy evidente la intensificación de las presiones ambientales en la RCM, entre los dos periodos existe un proceso que se invierte: *la tendencia actual de la velocidad de pérdida de CN es superior a la velocidad de expansión de la mancha antrópica* (Tabla 0.3-3).

Frente a este diagnóstico, la RCM tiene adicionalmente una ubicación geográfica-espacial crítica. Descansa sobre la frontera de transición entre las dos grandes bio-regiones de México: neártica y neotropical; la segunda es crucial porque ocupa a las entidades que concentran nuestra mega-biodiversidad; muy marginalmente esta bio-región se traslapa con la RCM.

Por esta razón cobra mayor sentido y peso el enfoque meso-regional del estudio diagnóstico de la RCM, las especificidades estatales y locales son piezas importantes del rompecabezas, pero

colocar en el centro la integridad de los sistemas ambientales existentes implica reconocer que los procesos ambientales son *problemas de escala* (véase Capítulo 2).

Asociados a los problemas ambientales, el cambio de uso del suelo trae al análisis un conjunto complejo de factores institucionales relativos a la naturaleza de la propiedad, que no son objeto principal del estudio. En consecuencia, nos abocamos a “reconstruir” los impactos sobre los usos del suelo derivados de los cambios estructurales de modelo de desarrollo económico mexicano, en su expresión regional de las últimas tres décadas ---patrones de industrialización y urbanización cambios en el ingreso, movilidad de población, cambios de estilos de consumo y de vida.

### 3.1 Disponibilidad, usos y calidad del suelo

La disponibilidad de suelo se vuelve crítica para el desarrollo económico cuando el patrón de ocupación espacial pierde cierto orden favorable a la eficiencia en la realización de la multiplicidad de actividades humanas y la preservación ambiental. La congestión de los usos del espacio impacta la estructura de costos e induce una nueva jerarquización de los usos competitivos para la localización de actividades. Incluso no es necesario alcanzar usos intensos que lleven a la “saturación” como para que el arreglo espacial de las actividades humanas se vuelva inviable por pérdida sustantiva de eficiencia en el funcionamiento económico y la convivencia social.

La pérdida del potencial de oferta de bienes y servicios ambientales y, en casos específicos, de altísima escasez de recursos particulares o pérdida de recursos concretos como agua o suelo por degradación, vuelve inviable materialmente cualquier tipo de desarrollo de largo plazo. Por ello, el suelo es crucial para transitar hacia un desarrollo regional sustentable.

Los análisis de cambio de uso del suelo son muy variados en alcance, integración y complejidad. Los hay de tipo cartográfico con diferentes alcances geográficos hasta los “híbridos”, que ligan los sistemas de información agroecológica con marcos económicos que se usan para cuantificar y proyectar los efectos de los procesos económicos sobre los cambio de uso del suelo<sup>181</sup>; usualmente están ligados a metodologías de insumo-producto. Éstos son muy recientes y con un gran desarrollo, pero demandan información cartográfica y económica muy desagregada y completa en el espacio y tiempo<sup>182</sup>.

---

<sup>181</sup> Las fuerzas que impulsan los cambios en los usos del suelo son múltiples, pero pueden identificarse por separado las dimensiones en la dinámica poblacional, en el nivel de afluencia, en la tecnología, en los estilos de vida y en lo institucional.

<sup>182</sup> Algunas referencias para este enfoque se encuentran en FAO/IIASA, 1993; Fischer G. y Sun L., 2001; Fischer, G., Chen, y Sun, L., 1998; Fischer, G., Zhao L. y Sun H., 1996.

Para el caso mexicano se ha logrado construir la “serie” cartográfica más larga con tres fechas entre el periodo de 1976-2000. La observación intertemporal de los cambios de uso del suelo confirma tendencias estructurales de pérdida de cubierta vegetal permanente. Es muy congruente el patrón general observado con los modelos de actividades económicas que ocupan el espacio: a la pérdida vegetal (bosques, selvas, vegetación hidrófila, matorrales, pastizales naturales y otros tipos) se anteponen aumentos de usos de suelo como pastizales inducidos y cultivados, áreas de cultivo y aglomeraciones urbanas (Tabla 0.3.1-1 y 0.3.1-2)<sup>183</sup>.

Este es el patrón observado también para la RCM, aunque las tasas de cambio en los usos del suelo son diferentes, mostrando con ello simplemente que el patrón de actividades económicas es distinto; dominan las grandes urbes con actividades secundarias y terciarias por encima del conjunto de las actividades agropecuarias, lo cual se refleja en las tasas de crecimiento de la frontera agrícola y de pastos por abajo del promedio nacional. Destacan de manera significativa las tasas de pérdida de cubierta vegetal (bosques y selvas) en toda la RCM, pues son más altas que el promedio nacional; asimismo, las áreas perdidas acumuladas son relativamente elevadas, un punto que demanda la atención urgente de las entidades de la RCM, por sus graves implicaciones sobre los otros recursos naturales como el agua (Tablas 0.3.1-3, 0.3.1-4 y 0.3.1-5).

En términos físicos (número de cabezas) la actividad ganadera de los estados de la RCM es importante. Entra-regionalmente, los estados de México, Puebla e Hidalgo, dominan la actividad, pues concentran entre 80 y 90% del total. En particular, son relevantes los inventarios en ganado bovino y porcino en los estados de México y Puebla; destacan porque son prácticas de alto impacto ambiental, evidentemente matizado por la tecnología de manejo. Sin embargo, esta actividad se suma a las otras altas presiones ambientales que se generan también en el espacio regional.

Aunque el inventario bovino y porcino en la RCM decrece en los años noventa, lo que es favorable para los sistemas ambientales, el seguimiento de la actividad implica impulsar mejoras tecnológicas de esta práctica productiva<sup>184</sup>. Esta es una expresión de una sola actividad económica que, en relación con su potencial de generación de nuevo valor agregado, introduce presiones ambientales intensas en una perspectiva de desarrollo económico sustentable; mantener beneficios privados positivos en actividades que socializan en el largo plazo costos, no sólo es un problema ético sino también uno real y de conflicto social. Es un problema crítico porque desafortunadamente la inadecuada valoración del patrimonio natural como potencial para el desarrollo es peligroso, pues las prácticas de ganadería extensiva relacionadas con la deforestación informal y, posteriormente, degradación de la calidad de los

---

<sup>183</sup> Es de señalar que no se dispone de información sobre la calidad de los macizos vegetales existentes; este dato importa porque existen sospechas fundadas de que ha disminuido sensiblemente la densidad de las cubiertas vegetales en los bosques y selvas del territorio nacional y regional.

<sup>184</sup> En este punto se abren posibilidades para evaluar la viabilidad de opciones como la reorientación hacia especies menores, incluso la sustitución temporal por importaciones para inducir la recuperación de suelos en estado de degradación parcial, en el marco de un plan de desarrollo regional sustentable.

suelos se han expandido alarmantemente a lo largo del territorio nacional (Tablas 0.3.1-6, 0.3.1-7, 0.3.1-8 y 0.3.1-9).

La calidad de los suelos es un buen indicador de la intensidad y larga permanencia de las presiones ambientales sobre el recurso, pues prácticamente todos los suelos de la RCM presentan degradación en algún grado, en la categoría de severa y muy severa están entre 50 y 70 % de los suelos de la región, con procesos de erosión hídrica y eólica, propios de terrenos con pendientes pronunciadas donde las actividades de deforestación y cambio de uso del suelo han dejado expuestos al agua y al aire los suelos existentes<sup>185</sup>.

Sin embargo, con el apoyo de otro indicador de calidad del suelo, el índice de fertilidad, se observa que podría tratarse de una situación crítica, pero tal vez no extrema; aunque son problemas que tienen que evaluarse con más detalle y datos más “duros”, la política ambiental en la materia debe necesariamente incorporar un principio precautorio. Los niveles para las entidades de la RCM por la extensión de las superficies involucradas, en promedio, los valores del índice de fertilidad son malos: Distrito Federal (media), Hidalgo (alta), México (media), Morelos (alta), Puebla (baja) y Tlaxcala (muy baja).

El patrón de apropiación humana del suelo, identificado como crítico, tiene implicaciones de política regional sustentable y, particularmente, está relacionado con la elaboración de *planes de ordenamiento ecológico territorial*. Estos últimos son propiamente la base para la planeación espacial, pues sin ellos no es posible consolidar medidas estructurales y de planeación de la política en la escala regional para el medio ambiente, así como inducir el orden y la coordinación en todos los niveles donde se toman decisiones en la materia. Se hace este señalamiento porque el panorama nacional muestra una gran insuficiencia en la materia<sup>186</sup>.

### 3.2 Disponibilidad, usos y calidad de los recursos forestales y la biodiversidad

Las montañas y los valles altos son formaciones naturales que ocupan gran parte del espacio de esta área central del país; su clima, suelo irregular y altura de la región, los hacen propicios para los bosques. Aunque las masas forestales existentes no presenten una gran diversidad vegetal general, pues predominan los pinos y los encinos, en estas condiciones biogeográficas

---

<sup>185</sup> Son suelos alcalinos y ácidos soportados en sustratos rocosos sedimentarios y volcánicos que los hacen suelos fértiles, pero muy delgados y, por tanto, desprovistos de su cobertura vegetal se vuelven muy frágiles ante los procesos de erosión.

<sup>186</sup> No está aún oficialmente decretado un Plan de Ordenamiento Ecológico Territorial; los planes estatales existentes no llegan a una decena, los regionales y locales son más bien la excepción que la regla. En la RCM se han decretado solamente para los estados de Hidalgo, México y Tlaxcala, los cuales pueden tener problemas de incompatibilidad en tanto no exista una metodología de referencia (un estándar) para su elaboración ---entrevista directa con funcionarios de la Semarnat (realizada en el año de 2002).



los ecosistemas desarrollaron una gran variedad de estas dos especies, al grado de que la zona constituye hoy el centro más importante de diversidad de estas especies en el mundo<sup>187</sup>.

El peso relativo de la producción física forestal maderable de la RCM es bajo respecto del total nacional<sup>188</sup>, 9% en promedio entre 1995 y 2000; pero puede ser significativo el impacto ambiental de este volumen físico si el manejo del recurso está fuera de control, no hay disponible información sobre las condiciones de la tecnología de gestión de los bosques en la región para confirmarlo. Llama la atención porque la producción física aumentó en más del doble (120%), con una tasa de crecimiento anual promedio alta (24%) y el aumento ocurrió predominantemente en el estado de México; aunque ligero, también se presentó en el resto de los estados de la RCM (Tabla 0.3.2-1). Si son tendencias que se mantienen, se trataría de un problema realmente crítico.

Esta conjetura se refuerza por los otros usos del suelo en la región. Se trata de una zona templada propicia para cultivos de temporal, y de hecho así ocurre, es la zona por excelencia de dos cultivos básicos de la agricultura mexicana: el maíz y el frijol. Aunque esta práctica agrícola se realiza predominantemente en los valles y en áreas con pendientes ligeras, existen usos de aprovechamiento de terrazas en las laderas de las montañas (Toledo *et al.*, 2002). El crecimiento poblacional y el agotamiento de suelos disponibles han contribuido a la expansión de las fronteras agropecuarias hacia las áreas altas en detrimento de las masas forestales. Al contrario de la agricultura tecnificada y de grandes extensiones “planas” del noroeste, en la RCM dominan los cultivos de temporal basados en el minifundio<sup>189</sup>. Esta restricción estructural no es de ninguna manera favorable para los manejos sustentables, ni del suelo, ni de los recursos forestales y, por ende, de la preservación de las cuencas hidrológicas.

Difícil y difusa, la separación entre la actividad forestal controlada e ilegal, el saldo neto sectorial es la alta deforestación. Sin lugar a dudas, la fundamental gran presión deriva del encadenamiento causal asociado con la pérdida de recursos forestales que empieza por la deforestación, pasa por el cambio hacia otros usos y entra en fases posteriores hacia procesos de degradación en la calidad del suelo.

---

<sup>187</sup> Los bosques templados existentes en la RCM son de los más diversos del planeta, de 100 especies de pino conocidas cuentan con al menos 55 y con 150 especies de encinos, de las cuales son endémicas 85% de las primeras y 70% de las segundas (Toledo y Ordóñez, 1993; Eccardi y Becerra, 1997).

<sup>188</sup> El peso en valor de la producción de la actividad forestal es más bajo aún, así lo muestra la participación relativa del sector primario, del cual es sólo una parte pequeña, de la RCM en el PIB nacional, cae de 1.5% a 0.9% entre 1980 y 2000 (véase series de PIB sectoriales en los anexos estadísticos del Capítulo 2). En términos de la pérdida creciente del potencial de servicios ambientales directos e indirectos y mayor vulnerabilidad para el desarrollo de la región, podría ser que fuese mayor este costo social ambiental que el valor que genera la actividad forestal. Este es un buen ejemplo del modo en que regionalmente se tienen que evaluar el ordenamiento y uso de tecnologías en las actividades productivas que comprometen usos intensos de los recursos naturales.

<sup>189</sup> Los trabajos de V. Toledo sobre economía campesina ofrecen una excelente caracterización económica, social y cultural de esquemas productivos de esta naturaleza (por ejemplo véase Toledo *et al.*, 2002).

En áreas próximas a la red de aglomeraciones urbanas, la presión demográfica es el principal motor que desencadena la destrucción de formaciones forestales y se expresa predominantemente como un causal económico. El alto plusvalor del suelo que inducen los asentamientos humanos en constante crecimiento compite, vorazmente, con el bajo potencial de generación de renta económica de las actividades productivas que pueden realizarse sustentablemente en las áreas forestales.

Mientras tanto en las áreas rurales los activadores que dominan los procesos de deforestación tienen componentes sociales (pobreza), institucionales (derechos de propiedad mal definidos y actividades ilegales) y económicos (programas de manejo del recurso deficientes y tecnologías muy tradicionales<sup>190</sup>). Aquí las variantes que tienen los cambios de uso de suelo son diversas, la ruta pasa por las actividades agropecuarias hasta llegar a la degradación gradual de la calidad de los suelos y abandono por alta erosión. En el área rural de la RCM es muy claro el rezago tecnológico asociado a las economías de las comunidades rurales que coexisten con prácticas ganaderas extensivas dentro y en las proximidades donde se localiza la riqueza forestal, localizadas en la periferia externa de la RCM.

Actualmente la deforestación persiste a ritmos muy elevados, ubican al país entre los primeros en el mundo; datos oficiales recientes reportan tasas anuales de deforestación arriba de las 500 mil hectáreas, 67,500 has/año para la región central del país (Tabla 0.3.2-2).

Se trata en realidad de tendencias estructurales cuyo antecedente histórico se encuentra en aquellas políticas públicas de varias décadas atrás, que en la confusión de “ganarle terreno a las selvas y a los bosques”, relacionado con un falso progreso productivo, empujaron las prácticas de desmonte. Posteriormente, en la decadencia de estas políticas, aunque no esté documentado impecablemente, se sabía que estas prácticas estaban también fuertemente ligadas a los cambios de uso del suelo inducidos por la expansión de la frontera agrícola, ganadera y urbana.

Aunque el incendio forestal no es un fenómeno nuevo, la evidencia empírica desde los años setenta parece confirmar tendencias crecientes en la mayoría de las regiones del país donde se localizan estos recursos. Hasta muy recientemente se ha empezado a reconocer que el principal instrumento de deforestación es el incendio. Territorialmente, aunque con sus diferentes intensidades regionales, la deforestación tiene expresiones en toda la escala de afectación de la masa forestal, desde la tradicional roza-tumba y quema hasta el desmonte extensivo y el ilegal.

Por los patrones de incendios y la extensión de la superficie afectada, el tema se ha convertido en una gran preocupación, no exenta de polémica, sobre todo por la relevancia que ha

---

<sup>190</sup> Una pista sobre esta aseveración muestra que cerca de la mitad de las causas de los incendios forestales es debido a quemas agropecuarias, le siguen fogatas por paseantes (20%) y cambios de uso del suelo (5.6%), principalmente; aunque el periodo es corto, los datos son muy indicativos (INE, 2000).

adquirido el acelerado proceso de deforestación en la RCM. La mayor parte de estas conflagraciones son consecuencia de quemadas llevadas a cabo con fines agrícolas o de pastoreo que se salen de control, y están fuertemente correlacionadas con los ritmos estacionales y con la incidencia regional de estas actividades. Por desgracia, sólo existe información relativamente confiable sobre los grandes eventos.

Con los datos disponibles sobre incendios registrados se realizó un estudio econométrico para probar causalidades del nexo central entre deforestación-incendios<sup>191</sup>, de él se identificaron patrones sistemáticos que permiten hacer las siguientes afirmaciones: 1) hay una tendencia al alza en el número de incendios y la superficie afectada a nivel nacional para el período 1970-1998; 2) se observa una dinámica fuertemente diferenciada por estados, lo que sugiere la necesidad de políticas regionales específicas (la RCM tiene dos tendencias crecientes y su calificación es de crítica), y 3) existe una asociación positiva entre pobreza, densidad de población rural y una mayor superficie forestal disponible con el número de incendios y la superficie afectada<sup>192</sup>.

Con la excepción del estado de Morelos, el resto de las entidades de la RCM presentan situaciones críticas porque las tendencias son crecientes tanto en la superficie afectada como en el número de incendios (Distrito Federal, Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala; Tabla 0.3.2-3). Cabe destacar que en esta situación crítica se encuentran también las entidades federativas con mayor riqueza y diversidad biológica, varios de ellos circunvecinos a la RCM, por eso la gran relevancia de este resultado (véase detalles en Tablas 0.3.2-5 y 0.3.2-6).

En síntesis, se adelanta la hipótesis de que el tamaño de las presiones ambientales que genera la actividad antropogénica de la RCM se está expresando ya con diversos mecanismos en presiones también sobre los ecosistemas de los estados vecinos a la región, que son los que cuentan con alta biodiversidad.

El alcance de esta fuerte interdependencia es otro elemento a favor del impulso urgente hacia la construcción de una gestión regional de los recursos naturales. Dicho brevemente: el desarrollo y el nivel de bienestar de la población de la RCM está encadenado a la preservación de los ecosistemas de estados como Veracruz, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. Más temprano que tarde a la conflictividad intra-regional por los recursos (por ejemplo agua) se le sumará con mayor intensidad la interacción interregional prevista.

---

<sup>191</sup> Se trata de un estudio que comprende las series históricas de incendios forestales y de superficie afectada más larga (1970-1998) para las 32 entidades federativas del país (CESPEDES, 2000).

<sup>192</sup> La primera variable capta el efecto de las presiones demográficas sobre las selvas y bosques junto con otras variables teóricamente relevantes que están asociadas, como la pobreza; mientras que la segunda variable contiene el efecto de la frontera aún disponible para ampliar las tierras de uso agrícola y ganadero, y, probablemente, la influencia de factores relacionados con la baja renta económica de bosques y selvas frente al costo de oportunidad que representa el uso agrícola y ganadero a través de la roza-tumba-quema y del pastoreo extensivo, condiciones de casi libre acceso, derechos de propiedad insuficientes o propiedad común no regulada, que favorecen a estas actividades. (En todo caso, el desarrollo económico parece ser una condición necesaria para preservar los bosques y selvas de México).

Prácticamente no existen estudios integrales sobre las meso-regiones del país, y para bajar las estrategias nacionales al plano de un posible desarrollo regional sustentable y se requiere que alguna institución los impulse. Esa podría ser una de las tareas iniciales para las nuevas instituciones de la RCM que se proponen más adelante; realizar estudios regionales para dotar con fundamentos de calidad el diseño e instrumentación de las políticas propias para el espacio regional. Serían estudios estratégicos sobre cambios de uso de suelo ligados a procesos económicos y sociales; estudios preventivos sobre los impactos a las actividades productivas que podrían derivar de escenarios de cambio climático; estudios que permitan documentar confiablemente el problema regional de: incendios-superficie afectada-deforestación-destrucción de hábitat-extinción de especies-pérdida de la biodiversidad<sup>193</sup>; y otros más, realmente se tiene la convicción de que en México se desconoce mucho la dinámica en general de sus meso-regiones.

Cualquier modelo de gestión para las áreas naturales protegidas (ANP) tendrá sentido sólo en el marco de los planes regionales y locales de ordenamiento ecológico y de la gestión regional de los sistemas ambientales como se propone<sup>194</sup>.

### 3.3 Disponibilidad, usos y calidad del agua

Para construir una perspectiva de cuencas de la meso-región centro es necesario ubicar el tamaño del potencial hídrico y el monto e intensidad de usos reales del recurso, porque con esto podemos construir un referente básico que estime el nivel de manejo sustentable medido en términos físicos. Para evaluar el desempeño general, gobierno y sociedad, aquí ya no importa la forma institucional de asignar el agua (mercado y no-mercado), lo fundamental es el saldo neto del balance hídrico y su impacto sobre la disponibilidad. Se elevan los inventarios del recurso o se continúan perdiendo, este debe ser el criterio para evaluar el impacto de las políticas existentes en todos los estados y localidades de la RCM.

Una aproximación de este tipo se realiza en esta sección; se expone bajo el orden propuesto: fuentes-usos-disposición final, que consideramos suficiente para precisar elementos del diagnóstico y las recomendaciones. Se insiste, la perspectiva es meso-regional.

Las cuencas hidrológicas que reciben la influencia directa de las actividades de la RCM son cinco (Tabla 0.3.3-1), una de ellas, la cuenca Lerma-Santiago-Pacífico (región VIII), aunque nace en la región, sólo una porción pequeña pertenece al estado de México y, en realidad, es una cuenca que está fuertemente comprometida para las actividades y asentamientos humanos

---

<sup>193</sup> Para dar una idea sobre las asociaciones entre incendios, superficie afectada y la biodiversidad expuesta a este riesgo, véase indicadores en tabla 0.3.2-4.

<sup>194</sup> Argumentación similar se encuentra en J. Carabias y G. Quadri (1995).

de los estados de la meso-región centro-occidente del país. En consecuencia, esta sección considera centralmente las cuatro cuencas restantes (IV, IX, X y XIII)<sup>195</sup>.

La región XIII es la crítica, se ha sobrexplotado su potencial hídrico, restringido exclusivamente a sus acuíferos, y crece la dependencia de los asentamientos humanos del Valle de México y Valle de Tula al potencial de las cuencas hidrológicas periféricas, las cuales presentan un buen nivel de disponibilidad del recurso, medido con el indicador de intensidad de uso (extracción total bruta/disponibilidad natural base media; véase Tabla 0.3.3-2) y clasificado con la etiqueta de “fuerte presión” según criterios de la Comisión para el Desarrollo Sustentable de la ONU. Aunque consideramos que este indicador es poco sensible para precisar más el carácter crítico del problema cuando colocamos en el centro la vulnerabilidad humana<sup>196</sup>.

Entre la disponibilidad del recurso superficial y el subterráneo media siempre la calidad, y para el consumo humano este último es el más adecuado desde un punto de vista de salud pública. Reconociendo este sentido estratégico de los acuíferos, un práctica mínima de manejo sustentable significaría estar por debajo de la situación de equilibrio entre extracción subterránea total y recarga media. Si usamos su cociente como indicador de intensidad de uso, medida de manejo sustentable del recurso, observamos cuencas mucho más presionadas, evidentemente insustentables porque están agotando el potencial hídrico y los factores de presión continúan su tendencia, con la excepción de la Región Golfo-Centro (Tabla 0.3.3-3).

Claro que las aguas superficiales pueden tener como destino el uso público, pero se requiere de infraestructura y de recursos para financiarla, restricción que frena programas de mediano y largo plazos. Más aún, si la calidad del recurso es baja (alta contaminación química y biológica), como es el caso de casi todas las cuencas de influencia de la RCM, los costos para hacerla disponible para el consumo humano se elevan significativamente. Por eso tiene más sentido el indicador de intensidad de uso modificado, pues es más sensible como medida de vulnerabilidad, como lo muestra la comparación de los valores de las tablas 0.3.3-2 y 0.3.3-3.

Las actividades agrícolas demandan una alta proporción de las disponibilidades o extracciones totales de agua, entre 80 y 90% del agua superficial y, en promedio regional, casi la mitad del agua subterránea extraída. Los otros usos de agua superficial son poco significativos dado que este potencial es grande. Las áreas que compiten fuertemente por el recurso hídrico de calidad son la industria y los usos públicos; la industria consume más del doble de agua subterránea que de agua superficial, aunque esta relación tendría que ser más balanceada, en razón de que el uso público debería tener prioridad<sup>197</sup> y se recomiendan medidas para liberar este potencial y garantizar el abasto futuro (véase tablas 0.3.3-4, 0.3.3-5, 0.3.3-6 y 0.3.3-7).

---

<sup>195</sup> Esto no significa que la cuenca sea irrelevante para la RCM, prueba de ello es el Sistema Cutzamala, una fuente estratégica de abasto de agua para el estado de México y la Ciudad de México.

<sup>196</sup> Con este fin se propone líneas abajo una modificación al indicador de intensidad de uso (véase Tabla 0.3.3-9).

<sup>197</sup> La industria tiene que financiar el cambio gradual de la fuente de abastecimiento del recurso, hasta donde técnicamente sea posible, pues implica inversión en procesos de tratamiento (cambio tecnológico).

En la RCM el uso público de agua destinado al consumo humano es alto, sólo un 10% de la población carece del servicio de agua potable; en servicios de alcantarillado es más alta la proporción que no tiene acceso (22%). En ambos rubros el objetivo de política es lograr una cobertura universal; el Distrito Federal es un referente inmediato por su nivel (98%), (Tablas 0.3.3-8 y 0.3.3-9, todos son valores promedio regional). Sin embargo, superar estos rezagos será siempre de un alto costo para los estados de la RCM en tanto que el déficit de estos servicios se localiza en las zonas rurales, donde los asentamientos humanos son de tamaño pequeño y están muy dispersos.

Tanto para este problema como para los de cambio de uso del suelo, de control sobre la cubierta vegetal y de disposición final de desechos que generan las actividades humanas, se requiere urgentemente de Planes de Ordenamiento Ecológico Territorial; considero que la mejor vía para conseguirlo es construyendo la gestión regional de la política ambiental, como se argumentará después.

La conformación de estas cuencas hidrológicas dio lugar a zonas endorreicas y vías de desagüe de gran importancia ecológica y económica para la RCM, tales como los sistemas Lerma-Santiago, ríos Tula, Pánuco y Balsas. Debido a que las cabezas de estas cuencas se encuentran más abajo de los valles centrales, vuelven complejo y muy costoso el aprovechamiento del agua dentro de la región.

Por el lado de la disposición final de aguas residuales de la RCM se observa una infraestructura insuficiente e ineficiente. Los volúmenes de aguas tratadas provenientes tanto de las ciudades y las industrias son muy bajos, se cuenta con plantas de baja capacidad respecto de los volúmenes generados y una gran mayoría operando por debajo de la capacidad de diseño y de manera ineficiente (véase tablas correspondientes en el Anexo Estadístico).

En síntesis, el reto de una política sectorial sustentable para la RCM se precisa así: garantizar la disponibilidad de agua presente y futura mediante un manejo sustentable de la parte que le corresponde del ciclo hidrológico. Las propuestas de acciones institucionales más concretas se resumen en el último capítulo.

### **3.4 Generación y disposición de desechos sólidos y líquidos y situación de la calidad del aire**

Los patrones de producción y consumo heredados en la RCM tienen la característica de demandar volúmenes significativos de materiales y energía para transformarlos física y químicamente y, por principio de conservación, se generan montos equivalentemente grandes, pero ahora como desechos, y ése es el problema.

Dado que ostensiblemente se rebasan las capacidades de asimilación ambiental, el reto consiste en crear un confinamiento temporal y ordenado y una dispersión de ese material de tal manera que se disminuya al mínimo la tensión que ocasionan a las capacidades de carga de los ecosistemas regionales. Este es el desafío general de aspirar a crecientes niveles de vida, pero sin costos sociales que minen el potencial ambiental para el desarrollo regional futuro. A esto tiene que responder también el modelo de gestión regional sustentable que se construya para la RCM.

Para cerrar el ciclo, de igual manera que en los ámbitos de la gestión ambiental del suelo, del agua y de los recursos forestales y la biodiversidad, el saldo neto también es muy desfavorable en el manejo de la multiplicidad de desechos de origen humano e industrial generados en la RCM. La información estadística de esta sección así lo demuestra.

En un contexto estructural de desequilibrios severos y déficits en la acumulación de inventarios ambientales (capital natural) ¿cómo esperar desempeños sectoriales positivos o sustentables? Por eso se insiste en que las entidades de la región no tienen manera de hacerlo independientemente, la vía está en la construcción de un pacto ambiental de largo plazo dentro y hacia las vecindades inmediatas de la RCM.

Dados los patrones de producción y de estilos de vida vigentes, en el corto y mediano plazo son las dinámicas de crecimiento en la actividad económica y de la población las que determinarán los volúmenes y tipos de desechos urbanos generados en la región. La RCM cuenta con una capacidad para tratar entre 18 y 25% del total de las aguas residuales de origen urbano y un aparato de infraestructura de tratamiento que opera ineficientemente, 60% de la capacidad instalada en el promedio de la región (Tablas 0.3.4-1 y 0.3.4-2); ciclo a ciclo se replican las tensiones ambientales por este manejo insustentable. Más aún, con el mayor volumen y densidad de población, y cuencas hidrológicas muy contaminadas, el diagnóstico es crítico también, por lo que demanda de atención urgente por los gobiernos y la sociedad de la RCM.

Para dar una idea adicional del tamaño del déficit, si el gasto de las aguas residuales tratadas se relativiza con respecto al tamaño de la población (miles de habitantes), el coeficiente oscila entre 2.75 y 0.022, lo que es realmente muy bajo. Pero si comparamos los valores extremos de la RCM contra el más alto nacional (Aguascalientes, 2.75), la proporción es 125 más alto respecto de Hidalgo (0.022) y 3.3 comparado con el más alto de la RCM, Morelos con 0.802.

Además, la magnitud de la contaminación biológica, medida en demanda bioquímica de oxígeno (DBO) por año<sup>198</sup>, es muy alta en el Distrito Federal y el estado de México; en promedio sólo 12% de tales cargas se remueven y cumplen con la normatividad antes de ser

---

<sup>198</sup> Parámetro indicativo del nivel de contaminación por carga orgánica.

descargadas al medio natural<sup>199</sup>. Es patente el rezago de este tipo de tratamiento y por tanto el incumplimiento generalizado de la normatividad ambiental. En ello destaca la red urbana en torno de la Ciudad de México y de la mayoría de las grandes ciudades de la región, que se han convertido en infractores ambientales sistemáticos, con el agravante de ser el mal ejemplo de manejo insustentable del recurso.

Con una buena regulación desde una perspectiva regional, las aguas residuales urbanas e industriales podrían ser uno de los campos de oportunidad para el sector privado. Los esquemas los tendría que precisar la nueva autoridad de gestión regional, que también podría ser la instancia que realizara las recomendaciones específicas para núcleos humanos medios y pequeños en los cuales se podrían impulsar tecnologías alternativas o intermedias para el tratamiento de aguas residuales urbanas.

La generación de contaminantes que provienen de las actividades industriales interesa porque es mucho más costoso el tratamiento de sus aguas residuales e imposible su eliminación o degradación total, por lo que suele calificarse de aguas con degradación en su calidad, su reutilización se vuelve más limitada<sup>200</sup>.

Cuando las industrias se establecen en zonas con baja disponibilidad de agua, como es el caso de una porción industrial considerable de la RCM, el resultado es ya muy conocido: sobreexplotación de acuíferos<sup>201</sup>, contaminación de cuencas hidrológicas y ecosistemas y altos costos de oportunidad para el desarrollo futuro de la región. Este marco se refuerza si, además, se reconoce que en una buena porción de las empresas existentes la tecnología utilizada en los procesos industriales es poco eficiente en relación con el uso del agua, entonces el diagnóstico se vuelve más severo, pues se hacen extracciones excesivas de este recurso y la producción de contaminantes no baja.

A pesar de que no existen datos confiables sobre los inventarios de agua empleados por la industria, con la estadística que se ofrece se puede dimensionar este problema<sup>202</sup>. Entre los

---

<sup>199</sup> Es importante resaltar el hecho de que las cifras expresadas incluyen las descargas de las industrias que están instaladas en zonas urbanas, y que al fluir a través de drenajes municipales no se pueden diferenciar de las descargas domésticas (CNA, 1999).

<sup>200</sup> Existen propuestas en el mundo que apuntan hacia la construcción de circuitos exclusivos para el manejo, tratamiento y reuso o disposición final de aguas residuales de origen industrial dentro de las áreas urbanas, nada conclusivo aún. El sentido es ganar economías de escala para hacerlo más atractivo a la inversión privada en infraestructura ambiental.

<sup>201</sup> Por la naturaleza del uso industrial de agua, materia prima o parte de sus procesos, la calidad se vuelve un factor crucial, por lo que en las condiciones actuales se tiende a sobreexplotar los mantos freáticos como fuente de abastecimiento regular, pues el aprovechamiento del agua superficial es muy costoso --58% se clasifica como contaminada y 21% como fuertemente contaminada en la región.

<sup>202</sup> Cabe aclarar que no se conoce confiablemente el inventario total del consumo industrial de agua debido a la dificultad que implica la desagregación de los datos que contabilizan, de manera independiente, los diversos



contaminantes más frecuentes están los ácidos, bases, grasas y aceites, metales pesados y los sólidos suspendidos totales. El tamaño de la contaminación biológica generada por sectores industriales de la economía es muy representativo de la distribución de las fuentes<sup>203</sup>; por monto de carga orgánica total nacional, 21.6% se genera en la RCM y, de esa porción, 70% lo producen el Distrito Federal y el estado de México.

El déficit de infraestructura ambiental es contundente y el existente opera con un coeficiente de utilización de 0.74 en promedio regional (detalles en tablas 0.3.4-3 y 0.3.4-4). En este caso el pronóstico es más complejo porque la demanda depende de los niveles de actividad industrial futura.

Como en los otros rubros de generación de desechos, en el caso de los desechos sólidos el desafío es generar el mismo producto y bienestar con cada vez menos insumos materiales provenientes de la naturaleza; la tendencia de la práctica sustentable sería el pleno control sobre la recolección y disposición temporal o final, pero también y sustancialmente “desmaterializar” las actividades humanas.

El nivel<sup>204</sup> y la composición<sup>205</sup> de estos desechos dependen de los patrones de consumo y niveles de ingreso, esto es, del nivel de desarrollo; por ejemplo, entre 1950 y 1994 en el Distrito Federal la porción de la basura no-biodegradable se elevó de 5% a 41%; este cambio significativo ha implicado la elevación de los costos de manejo al pasar de un desecho sólido, denso y casi completamente orgánico, a otro voluminoso y altamente no biodegradable.

Asimismo, se aumentó la proporción de los residuos considerados peligrosos generados en las industrias, unidades médicas, laboratorios y veterinarias, así como cambios importantes debidos a los patrones de consumo familiar (gasas, algodones, productos químicos, insecticidas, residuos de pintura, aerosoles, pilas, solventes, ácidos y álcalis, aceites lubricantes, llantas y baterías usadas).

---

organismos públicos encargados de llevar su control. La Comisión Nacional del Agua sólo registra la oferta y las características de las descargas.

<sup>203</sup> Entre las industrias con mayor participación en la generación de carga orgánica están: la azucarera (53%), bebidas y fabricación de alcohol (20%) y la petrolera, celulosa y papel, alimenticia, metálica básica y química con un 5% cada una.

<sup>204</sup> La generación total de basura urbana en México se estima en 30 millones de toneladas por año, con una aportación *per cápita* promedio de 329 kg./año; el Distrito Federal presenta valores ligeramente mayores, 365 kg./año/persona.

<sup>205</sup> Aunque diferentes para cada área urbana, la composición promedio nacional es: 53% basura orgánica, 14% papel y cartón, 6% vidrio, 4% plástico, 2% textiles, 3% hojalata y el 18% restante materiales como madera, cuero, hule, envases de cartón encerado, trapo y fibras diversas.

Los estados de la RCM generan 37% del total nacional y 75% de este monto es atribuible al estado de México y el Distrito Federal, con los volúmenes por tipo de basura proporcionados en la Tabla 2.3.4-5<sup>206</sup>. Si proyectamos la generación de basura por crecimiento de la población la tendencia de redistribución de los montos es interesante, ahora la participación del Distrito Federal caería significativamente en el total regional, Morelos y Tlaxcala casi doblarían su nivel de generación, Hidalgo se mantiene y el estado de México crece para convertirse en el mayor generador de basura con el 59% de total de la RCM (Tabla 0.3.4-6).

Con esta información puede construirse una medida del tamaño potencial de los diferentes mercados de reciclaje de materiales, ámbito muy adecuado para la actividad empresarial a la cual se le debería crear un marco favorable para su rápido desarrollo: estímulos fiscales, crédito amarrado a opciones tecnológicas certificadas<sup>207</sup> etc.

Además del generalizado rezago nacional, en los estados se observan disparidades en la dotación de infraestructura adecuada para la disposición final de desechos sólidos, son muy escasos los rellenos sanitarios que cumplen la norma (NOM-083-ECOL). Para planear el largo plazo de la actividad, se recomienda que en las reservas territoriales de la RCM se identifique un banco de sitios, debidamente tipificados, para el confinamiento final de estos desechos.

Como se ha mencionado al inicio del Capítulo, la perspectiva del diagnóstico es a nivel meso-regional y el problema ambiental de la calidad del aire para la RCM es uno, esencialmente, reducido a las grandes urbes, en particular a la Ciudad de México y, en menor grado de severidad, a la zona metropolitana de la Ciudad de Toluca. Por lo tanto, no se aborda en detalle. Pero además porque la gestión de sistemas atmosféricos (abiertos) o problemas global rebasa el ámbito regional.

Simplemente se destaca que las acciones ambientales públicas y privadas para mejorar la calidad del aire de la ZMCM, que es la experiencia referencial para el Valle de Toluca, sin duda que han tenido impactos positivos: abatimiento de los niveles de algunos contaminantes como monóxido de carbono, bióxidos de nitrógeno y azufre, y de ozono, que han influido en el descenso del número de días al año en que ocurren emergencias ambientales e inminente puesta en marcha de restricciones a la circulación de medios de transporte y del nivel de actividad industrial. Donde no se observan descensos importantes es con las partículas suspendidas, las más peligrosas para la salud humana (Tabla 0.3.4-7). Este último es un problema complejo por la multicausalidad y las descargas se realizan a un sistema atmosférico abierto, por lo que los problemas locales se tornan globales.

---

<sup>206</sup> A falta de información disponible y de un sistema de información consolidado sobre la materia, y como el nivel de generación total depende esencialmente del tamaño de la población, se realizó el siguiente ejercicio de estimación de desechos generados por tipo y entidad federativa; se tomó en consideración las poblaciones urbanas del año 2000 en conjunción con las tasas *per cápita* y composición promedio nacional.

<sup>207</sup> Conviene advertir que para la atención del rezago en materia de aprovechamiento y disposición final, existen diferentes opciones tecnológicas: reciclaje de productos, fabricación de aglomerados y materiales para construcción, compostaje, relleno sanitario y generación de biogas.

En síntesis, mejorar los niveles de vida trae aparejado siempre la generación de desechos de todo tipo, asimilables y no por los ecosistemas. Cuando las velocidades de generación exceden las capacidades naturales se demanda de inversiones en infraestructura ambiental, su función estratégica es proveer bienes y servicios ecológicos que la sociedad exige y que los propios sistemas naturales existentes ya no son capaces de ofrecer en plenitud, en buena medida, porque han sido alterados y rebasadas sus capacidades de carga, dilución y asimilación.

En general, sin esa sustitución, de capital natural por capital antropogénico (o físico), es de esperar la acumulación permanente de desechos que implican la agudización de problemas de salud pública, contaminación de suelos y cuerpos de agua, afectación severa de ecosistemas terrestres y acuáticos, alteraciones hidrológicas, pérdida de recursos naturales y riesgos por accidentes o contingencias.

Por esta razón, ante la situación actual de significativo déficit acumulado se requieren inversiones urgentes en todos los frentes: 1) tratamiento de aguas residuales urbanas; 2) tratamiento de aguas residuales industriales; 3) manejo de residuos urbanos; 4) manejo de residuos industriales que requieren un tratamiento especial, incluyendo líquidos residuales, y 5) manejo de residuos biológico-infecciosos.

#### **4. Cambio demográfico regional<sup>208</sup>**

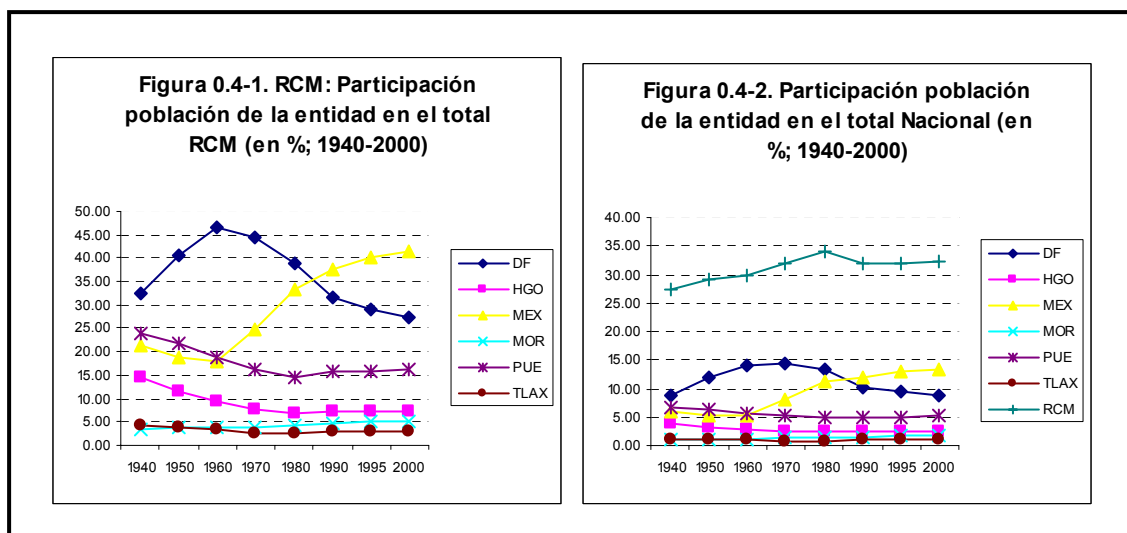
Si la actividad humana es la fuente de presiones sobre nuestros sistemas ambientales, es claro que la población y su distribución espacial son factores determinantes de la evolución de las modalidades que cobra la apropiación humana del medio ambiente. Las aglomeraciones de actividades y de población inducen presiones al cambio de los usos tradicionales del suelo; áreas agrícolas que son asimiladas por el crecimiento de manchas urbanas, industrias, nuevos asentamientos rurales, infraestructura, cuya expansión conjunta resulta en impactos ambientales, a cuyas alteraciones se le agregan de manera permanente la generación de desechos y mayor competencia por los recursos ambientales que se vuelven más escasos como el agua.

No hay mayor misterio a lo documentado ya, es dominio general que los flujos poblaciones responden o siguen siendo determinados por los flujos de actividad económica; los flujos migratorios se dirigen predominantemente hacia los centros económicos más dinámicos. Parece ser una regularidad que *los procesos de concentración-dispersión espaciales son simultáneamente de actividad económica y de población.*

---

<sup>208</sup> Las observaciones expuestas en esta sección 4 tienen como soporte empírico las tablas 0.4-1 a 0.4-6 y las figuras 0.4-1 a 0.4-3.

Aunque sin la movilidad de factores productivos propios a estos procesos demográfico-económicos, la regularidad la extendemos para afirmar que los procesos de interacción con los SA exhiben una dirección inversa, los SA se vuelven más dispersos, pierden densidad o, peor aún, se fragmenta el hábitat. Usualmente significa pérdida de CN porque la conservación o restauración es insignificante; donde la variable de observación son los diferentes tipos de capital natural o indirectamente las presiones ambientales, expresiones más directas de los bienes y servicios ambientales requeridos.



El cambio demográfico en la RCM ha estado marcado esencialmente por los dos grandes periodos de desarrollo económico nacional del siglo pasado. La etapa del desarrollo estabilizador (1940-1970) tuvo como atractores principales a las grandes zonas metropolitanas del país, sobre todo a la Ciudad de México. Los flujos migratorios tuvieron un carácter rural-urbano y respondieron a la centralización económica de esas zonas y la urbanización se vio dominada por la concentración de la población en unas cuantas grandes ciudades. Las últimas dos décadas (1980-2000) se observan transformaciones en la dinámica migratoria y urbana del país.

La tendencia predominante hasta los años ochenta fue la concentración de la población en unas cuantas ciudades del país, en especial en la RCM. En la actualidad esta tendencia se modifica gradualmente abriendo el paso a una distribución más amplia de la población en centros urbanos de diversos tamaños. Los movimientos migratorios de carácter urbano-urbano y metropolitano-urbano han cobrado mayor importancia y la inercia de urbanización y desconcentración urbana parecen ser favorables al sostenimiento de esta tendencia (PNP: 1995-2000)<sup>209</sup>.

<sup>209</sup> PNP 1995-2000. Programa Nacional de Población 1995-2000, Poder Ejecutivo Federal.

En México, la región que sirve como *monitor ambiental* de estos procesos es la RCM, concentra alrededor de 1/3 de la población y de la actividad productiva en un espacio relativamente reducido. En la RCM la población se había venido duplicando cada 20 años hasta la década de los 80's, aproximadamente; el ritmo del promedio nacional fue más lento durante estos primeros cuarenta años. A partir de los años ochenta, con las políticas de control poblacional y el surgimiento de nuevos centros regionales de mayor dinamismo económico, las tasas de crecimiento se van diferenciando de la dinámica que históricamente había tenido el centro del país.

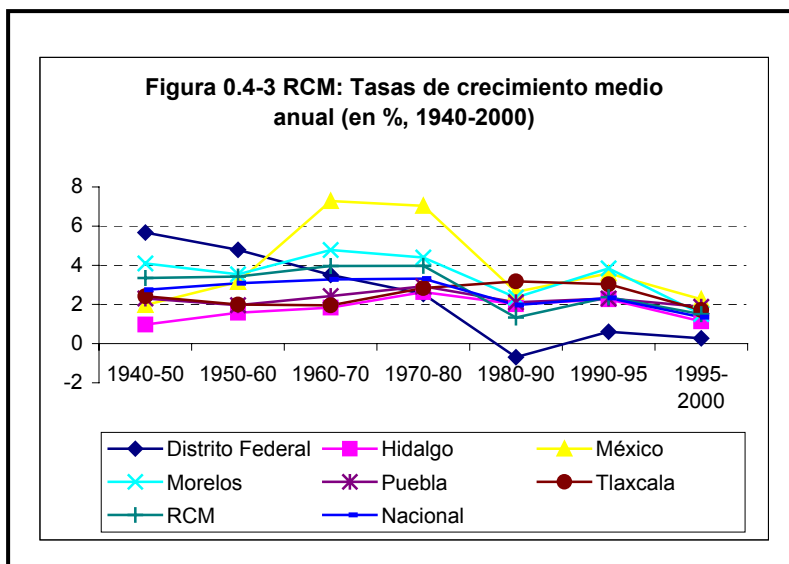
**Tabla 0.4-3. Nacional y RCM: Número de veces que ha aumentado la población de base (1940).**

	1940	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000
RCM	1.000	1.391	1.947	2.873	4.239	4.840	5.442	5.865
Nacional	1.000	1.312	1.777	2.454	3.401	4.134	4.638	4.960

Fuente: Elaboración propia.

La menor atracción migratoria de las grandes metrópolis debido a problemas vinculados al deterioro de la calidad de vida que implica a los SA, y estancamiento económico, que se ha reflejado en su más lento crecimiento y una disminución de la proporción de la población urbana que vive en ellas.

La participación relativa de la población residente en ciudades de más de un millón de habitantes disminuyó entre 1990 y 2000, aun cuando el número de ciudades aumentó entre 4 a 5 veces el promedio nacional. Destacan el crecimiento de Puebla, Toluca y Cuernavaca para la RCM, que permite vislumbrar la consolidación de una vasta zona metropolitana con centro en la Ciudad de México. Es importante resaltar el aumento en la capacidad de atracción de ciudades intermedias (100 mil-1 millón de habitantes) a partir de los años ochenta.



Sobresale también la multiplicación de las ciudades que pertenecen a los niveles inferiores de la jerarquía urbana (15-100 mil habitantes). Si bien no aumentó la concentración de población, el número de estos asentamientos incrementó entre 1970-90 más del doble; importa porque es indicativo de la importancia futura que tendrán.

Persiste el patrón tradicional de gran dispersión de asentamientos humanos en pequeñas localidades de tipo rural. Parece que este proceso se ha intensificado a partir de los años setenta. Cabe destacar que del total nacional de localidades de 5 mil habitantes, 108 mil tienen menos de 100 habitantes y su distanciamiento con otros centros de población y su accidentada ubicación geográfica complican su condición.

En síntesis, México y la RCM se encuentran en un momento crítico de inflexión de los procesos de transición urbana y movilidad territorial de la población. Los centros urbanos se han convertido en los ejes cardinales de la interconectividad territorial de las actividades humanas, de tal manera que de su *funcionamiento y gestión eficiente dependerá gran parte del potencial de desarrollo regional sustentable*<sup>210</sup>.

## 5. Elementos para un diagnóstico institucional

Los aspectos institucionales son siempre complejos y es necesario realizar estudios que aborden exclusivamente este ámbito. Sin embargo, por el rol crucial que juegan en el buen funcionamiento de las políticas y la organización social en general, esta sección particularmente se enfoca en los aspectos institucionales relacionados con la planeación ambiental, por la ausencia instrumental significativa en México en este punto.

Las estructuras estatales y la concepción de las políticas públicas tradicionales predominantes son inadecuadas para impulsar la sustentabilidad del desarrollo económico. Por décadas se ha reproducido una dinámica institucional y diseño de políticas al margen de la sociedad en tanto que *no* ha favorecido la información al público e involucramiento efectivo de los agentes interesados. El tránsito al desarrollo sustentable requiere de *acciones de planeación y conducción que presuponen cambios institucionales*<sup>211</sup> para traducir el concepto en acciones viables (Provencio, 1997:17)<sup>212</sup>.

---

<sup>210</sup> “Las decisiones de política urbana son cada vez más complejas e interdependientes. El Distrito Federal, por ejemplo, no puede diseñar políticas de desarrollo urbano sin tomar en cuenta los efectos que puedan tener en las áreas urbanas aledañas...” (PNP: 1995-2000:39-40).

<sup>211</sup> Usualmente en la literatura especializada el cambio institucional para la sustentabilidad presupone siempre un sentido amplio y abierto, pues involucra: las instituciones asociadas al sistema de mercados, las estructuras estatales, las reglas no-formales, los usos y costumbres, marcos legales, códigos de conducta por gremios, profesiones y agrupamientos sociales, compromisos y reglas internacionales en general.

<sup>212</sup> Nuestro autor recupera del debate y la experiencia mundial cuatro dimensiones para un cambio institucional promotor del desarrollo sustentable: 1) Integración de políticas y coordinación institucional, 2) definición de metas viables (y evaluables) calendarizables, 3) presentación de cuentas bajo un marco de evaluación estratégica, y 4)

En una breve revisión de la política ambiental en México, cuyos antecedentes históricos no son tan extensos, pues se tienen apenas tres décadas de acciones sistemáticas en materia ambiental<sup>213</sup>, se pueden identificar dos grandes momentos o etapas:

1) Inicia con la creación de las instituciones pioneras en la materia a mediados de los años setenta y que culmina con la promulgación de la primera Ley General de Equilibrio Ecológico (1988), donde esencialmente se van definiendo los espacios del sector ambiental, pero sin un rumbo claro de integración a las políticas generales de desarrollo nacional; y

2) Se observa un cambio significativo en la orientación de la política ambiental, en particular, a partir de la creación de la Secretaría del Medio Ambiente (Semarnap en 1994), que se expresa en un gran esfuerzo de rediseño institucional y normativo intentando colocar en el centro de las políticas públicas una noción viable (operable) de desarrollo sustentable.

En suma, la evolución de la política ambiental en México se resume en una prolongada fase reactiva seguida del cambio a una fase más activa, pero inconclusa, a partir de la segunda mitad de los años noventa. No obstante que durante esta segunda etapa se constituye el marco institucional y normativo vigente y se logran precisar mejor los objetivos de las políticas de desarrollo sustentable, poco se avanzó en el perfeccionamiento de los instrumentos de política y los métodos para su evaluación y ajuste periódico.

Durante este segundo periodo se observa un cambio sustantivo de la política ambiental respecto al periodo anterior. La Cumbre de Río de 1992 es detonante indiscutible del cambio institucional y conceptual al colocar en el centro a la noción de sustentabilidad del desarrollo económico. Se trata también de un proceso de convergencia acelerado en el mundo.

Se crea la base institucional actualmente existente y de alguna manera la última versión de la LGEEPA (mayo de 2001) que refleja la nueva perspectiva de la política ambiental en México, sus principios (capítulo III) y sus instrumentos, su carácter y, hasta donde es posible, una

---

transparencia en el ejercicio efectivo del derecho público a la información (Provencio, 1997; pp 17). Deseamos destacar que la planeación ambiental como instrumento de política ofrece el potencial para hacer blanco eficiente en objetivos de política que están involucrados en las dimensiones mencionadas; como será argumentado a lo largo de esta investigación.

<sup>213</sup> En González-Dávila (2004) se documenta una evolución histórica de la política pública ambiental en México, en ese trabajo puede observarse que prácticamente tenemos políticas e instituciones desde principios de los años setenta.

delimitación de los ámbitos de aplicación (capítulo IV)<sup>214</sup>; señalamiento explícito tiene en la Ley la vertiente de planeación ambiental, objeto de esta reflexión general.

En consecuencia, por la importancia que tiene para esta investigación recuperar algún referente contra el cual comparar el significado de los resultados, tomamos las ideas propuestas de E. Provencio (1997 en lo que él denomina la vía en México para inducir *procesos de integración de políticas*. En la tabla 0.5-1, se concentran las seis vertientes de referencia y anotamos a continuación nuestros comentarios y variantes propias. La observación general a todas ellas es que, se considera existe carencia instrumental, en palabras de Daly, el cúmulo de objetivos de política ambiental implícitos es muy alto y, por tanto, se requiere mayor especificación instrumental. Al parecer no interés explícito o directo del trabajo de E. Provencio (1997) avanzar en esta dirección, pero este trabajo tiene un punto de partida en estas ideas.

Tabla 0.5-1. Comentarios a la Propuesta de E. Provencio sobre la integración de política ambiental en México.		
Eje de C/ integrador de política*	Bases de Propuesta de referencia o de E. Provencio (1997)	Observaciones o comentarios para un desarrollo posterior
1) Vía concentración de atribuciones y responsabilidades	Concentrar atribuciones y responsabilidades en una sola entidad estatal, según estructura delegacional de la Secretaría;	La propuesta de esta investigación es una <i>Agencia Regional con autoridad en materia ambiental general</i> ; Se incurre en el fomento hacia lo que califico de 'efecto dilución' de la autoridad por carencia instrumental.
2) Vía extensión horizontal	Conjuntar factores ambientales en la formulación de políticas de los diferentes sectores, extender responsabilidades a todos los organismos estatales y generar espacios de interacción sectorial (gabinetes o consejos especializados)	No se puede estar en desacuerdo, pero las debilidades en los sistemas de información económico-ambiental disponibles tal vez pueden ser evidencia de falta de claridad en la sistematización, una vez más considero por carencia instrumental.
3) Vía extensión vertical	Inducir el cambio del instrumento <i>Manifestación de Impacto Ambiental</i> hacia una metodología y práctica gubernamental de <i>Evaluación Ambiental Estratégica</i> que se extienda verticalmente hacia los planes, programas y políticas globales y específicas.	Si recupero el sentido de la vertiente de referencia, entonces considero que una extensión viable sería la vía que se ha denominado del CEA o Ciclo de .... Aunque las metodologías de MIA son marcos generales y que, por su carácter regulatorio, no hay garantía de que las evaluaciones que requidas por normatividad sean adecuadas o suficientemente precisas, dado el estado del arte en la materia. (ver comentario general siguiente complementa la argumentación.
4) Vía relación intergubernamental	Aumentar la coordinación y mejor distribución de atribuciones entre los órdenes de gobierno, tendientes a una gestión ambiental integrada y descentralizada.	Las vertientes 4, 5 y 6 están directamente relacionadas con la propuesta de esta investigación: <i>Una estrategia de DRS</i> (ver Capítulo 6). Se ofrece un instrumento también general, pero que precisa una vía concreta y viable para cuantificar procesos de desempeño ambiental de sistemas económicos regionales. En un marco analítico unificado a la Heijungs (2001), compatible con nuestra propuesta metodológica con alcance de 1ª fase y comienza por la definición de un problema de atribución ambiental interespatial ---propuesta de esta investigación.
5) Integración regional	Orientar y fomentar procesos de desarrollo regional que contemplen la convergencia de objetivos económicos, sociales y ambientales. En este ámbito los ordenamientos ecológicos de los territorios a escala regional son cruciales.	
6) Vía relación con la sociedad	Involucrar agentes sociales en acciones conjuntas de gestión ambiental mediante mecanismos de participación social.	

\*1 Son vertientes de cambio institucional (C?) que pueden inducir procesos de integración de políticas (Provencio, 1977).

<sup>214</sup> Por su importancia y su mención explícita destacan los siguientes instrumentos: I) planeación ambiental, II) ordenamiento ecológico del territorio, III) instrumentos económicos, IV) regulación ambiental de los asentamientos humanos, V) normatividad, VI) autorregulación y auditorías ambientales; investigación y educación ecológicas; e información y vigilancia.



*Fragilidades institucionales para un Desarrollo Regional Sustentable en México:  
Comentario general*

Cabe destacar que la planeación ambiental está circunscrita a lo estipulado en los Planes Nacionales de Desarrollo, los cuales siguen la “mecánica” normada por la Ley General de Planeación Democrática. No hay mayor elaboración sobre los lineamientos de una acción estratégica del Estado mexicano, más aún cuando se han hecho recomendaciones dignas de atención en el sentido de transformar radicalmente la política ambiental en México hacia una *política de Estado* (Carabias y Quadri, 1995)

Se considera que tampoco hay elementos claros que posibiliten una vinculación con el otro instrumento que debería ser la plataforma de la planeación ambiental: el Ordenamiento Ecológico Territorial (OET) nacional, regional y local; porque no es posible elaborar una política ambiental de largo plazo, y en múltiples escalas, sin estipular un ordenamiento del espacio.

Sin embargo, estos son más la excepción que la regla, no hay planes de OET regionales, hay esfuerzos estatales pero son muy pocos, y hay dudas fundadas sobre la compatibilidad entre ellos, por la sencilla razón de que la Semarnat no ha publicado un estándar para su elaboración; y los planes de OET a nivel local son más excepcionales aún, la RCM es un caso que ilustra fielmente esta situación.

El otro concepto básico que dota de contenido específico a la política ambiental y termina por cohesionar toda respuesta institucional es la sustentabilidad, que requiere de una mayor precisión en cada una de uno de los niveles de análisis: el temporal y el espacial. La Ley demanda que sea un proceso evaluable mediante criterios e indicadores del carácter ambiental, económico y social<sup>215</sup>.

Este bien podría ser el marco general de una triada conformada por la: sustentabilidad y CNC-planeación ambiental-ordenamiento ecológico del territorio, que pudiera facilitar la integración de los restantes instrumentos de política ambiental<sup>216</sup> ---núcleo de las implicaciones de esta investigación (capítulo 6).

---

<sup>215</sup> *Desarrollo Sustentable*: El proceso evaluable mediante criterios e indicadores del 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 futuras (LGEEPA: Art. 3, fracc. XI).

<sup>216</sup> Considerado instrumento de utilidad pública en el Art. 2 de la LGEEPA.

La escala regional y un criterio de sustentabilidad con suficiente precisión cohesionaría estos dos conceptos básicos para hacer viable la integración. En este basamento de la política ambiental habría “coordenadas” no sólo espaciales sino institucionales también para el conjunto de acciones públicas y sociales, sería un marco propicio para mejorar su coordinación, evaluación e instrumentación<sup>217</sup>.

En síntesis, al parecer todos los frentes de la política ambiental en México están cubiertos, afirmación que se sostiene con base en la revisión realizada a los PND y programas sectoriales de los dos últimos periodos sexenales, pero se cubren de manera deficiente, y en particular, retrasa el que la planeación ambiental tenga un rango de carácter pasivo y subordinado<sup>218</sup>. No se explota la escala regional como “correa de transmisión” de los grandes lineamientos de la política ambiental nacional, cuando este meso-espacio es propicio de manera natural para la convergencia de las acciones generales con las estatales y locales. No hay una debida jerarquización de los procesos de impacto espacial por la falta de desarrollo de instrumentos que profundicen la política ambiental en los planos regional y local<sup>219</sup>.

La propia LGEEPA es una fuente de conflicto, descentraliza la política ambiental en los tres niveles de gobierno, pero deja la gestión ambiental, en su vertiente regional, al marco de los Convenios de Coordinación (Art. 20 Bis 2), que vuelve a las entidades federativas en administradores de la Federación y no instituyen la autoridad regional, imprescindible para la gestión ambiental. En el marco impuesto por la descentralización general de la economía mexicana, hay ejes relevantes que deben estar presentes para estructurar una *nueva estrategia de desarrollo regional sustentable* que involucre procesos de modernización en los siguientes ámbitos: 1) las empresas y la generación de economías externas positivas, 2) la administración pública y 3) una nueva institucionalidad para la gestión de la política regional. En particular, puede ser piloto y detonante una agencia de gestión regional de los asuntos ambientales; se argumentará posteriormente la viabilidad de esta tesis, es un punto central del análisis institucional de la RCM.

---

<sup>217</sup> E. Provencio (1997) propone algunos rasgos deseables para el proceso de planeación ambiental que se recuperan e integran en la propuesta esbozada en el Capítulo 5.

<sup>218</sup> Subordinada al marco de los lineamientos de política ambiental que establecen el Plan Nacional de Desarrollo y los programas correspondientes (Art. 17).

<sup>219</sup> Como lo sería por ejemplo un enfoque que coloque en el centro el rol de las funciones ambientales, como lo hace la metodología del CNC (ver número especial del tema en la revista *Ecological Economics*).

## **Anexo I Sobre la dinámica de un sistema conjunto SE-SA: un análisis cualitativo de estabilidad y resiliencia**

### **CONTENIDO**

- 1. Análisis de diagramas de fases: Introducción**
  
- 2. Modelo dinámico de C. Perrings: Espacio de fases**  
  
**Tipos de equilibrio: Estabilidad**
  
- 3. Sobre los conceptos de estabilidad y resiliencia**

## 1. Análisis de diagramas de fases: introducción

Como no es posible siempre obtener soluciones *cuantitativas* de los sistemas dinámicos no lineales, se puede recurrir en estos casos a un análisis *gráfico-cualitativo* (diagrama de fases), el cual es posible sólo para sistema de ecuaciones diferenciales uni y bi-dimensionales. El sistema es de primer orden, dos variables independientes, y autónomo, es decir, la variable  $t$  no entra como argumento en las funciones  $F(\cdot)$  y  $G(\cdot)$ :

$$\begin{aligned}\dot{k}_n(t) &= F(k_n, k_p) \\ \dot{k}_p(t) &= G(k_n, k_p)\end{aligned}\quad (1).$$

El análisis de diagramas de fases se limita a dar respuestas sólo del tipo cualitativo que refieren a la localización y estabilidad del equilibrio intertemporal. El punto de equilibrio se obtiene en la intersección de las curvas de demarcación (o isoclinas)  $F(\cdot)=0$  y  $G(\cdot)=0$ .

El análisis se presenta para un equilibrio único donde el espacio de fases queda dividido en cuatro regiones, aunque cuando no hay linealidad de las curvas de demarcación, éstas pueden interceptarse en más de un punto y producen equilibrios múltiples. En este caso, en el diagrama de fases estarán presentes los diferentes tipos de equilibrio intertemporal resultantes y habrá más de cuatro regiones. El principio subyacente para el análisis de estabilidad será básicamente el mismo que para un equilibrio único. Como se verá con la técnica de linealización del sistema no lineal para el caso de equilibrios múltiples, la aproximación lineal permitirá realizar para cada equilibrio por separado el mismo análisis. Para exposición se emplea el modelo dinámico de C. Perrings (1997), recuperado para esta investigación.

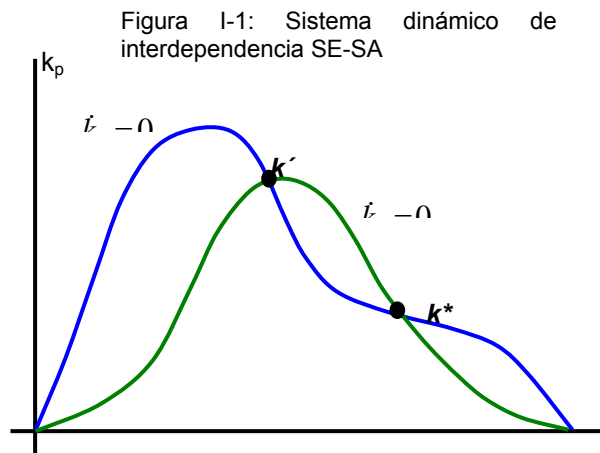
## 2. Modelo dinámico de C. Perrings: espacio de fases:

Sea un modelo dinámico de interdependencia SE-SA dado por el sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden (dos variables y autónomo), cuya forma general es (1). Las dos curvas de demarcación se representan por las ecuaciones:

$$\begin{aligned}F(k_n, k_p) = 0; & \left[ \text{curva } \dot{k}_n(t) = 0 \right] \\ G(k_n, k_p) = 0; & \left[ \text{curva } \dot{k}_p(t) = 0 \right]\end{aligned}\quad (2)$$

No tenemos manera de conocer una forma más específica para las funciones  $F$  y  $G$ , como podría ser el caso, por ejemplo, si el modelo deriva de un problema de control óptimo, sea microfundamentado o no. El sistema dinámico de referencia tiene en el espacio de fases  $(k_p, k_n)$  la representación de la figura I-1.

Este sistema dinámico no es totalmente arbitrario, subyace la idea de que un SE no puede existir sin SA, la interdependencia es tal que los procesos de acumulación de  $k_p$  y  $k_n$  no son ilimitados y hacen que el sistema conjunto sea finito. Esto se representa cualitativamente mediante la forma general de las curvas  $F$  y  $G$ , y posibilita extraer datos importantes sobre el valor comparado de sus pendientes alrededor de puntos de equilibrio del sistema SE-SA.



Mediante la regla de la función implícita obtenemos expresiones para las pendientes de las curvas  $F$  y  $G$  así:

$$dF(k_n, k_p) = \frac{\partial F(\cdot)}{\partial k_n} dk_n + \frac{\partial F(\cdot)}{\partial k_p} dk_p = F_1 dk_n + F_2 dk_p = 0 \quad (3) \text{ y}$$

$$dG(k_n, k_p) = \frac{\partial G(\cdot)}{\partial k_n} dk_n + \frac{\partial G(\cdot)}{\partial k_p} dk_p = G_1 dk_n + G_2 dk_p = 0 \quad (4)$$

Despejando  $\left[ \frac{dk_p}{dk_n} \right]_{k_n=0}$  y  $\left[ \frac{dk_p}{dk_n} \right]_{k_p=0}$  :

$$\left[ \frac{dk_p}{dk_n} \right]_{k_n=0} = -\frac{\partial F / \partial k_n}{\partial F / \partial k_p} = -\frac{F_1}{F_2}; (F_2 \neq 0) \quad (5) \text{ y}$$

$$\left[ \frac{dk_p}{dk_n} \right]_{k_p=0} = -\frac{\partial G / \partial k_n}{\partial G / \partial k_p} = -\frac{G_1}{G_2}; (G_2 \neq 0) \quad (6)$$

Sabemos que en cada punto de equilibrio  $k_p$  y  $k_n$  son estacionarias ( $\dot{k}_n(t) = 0$  y  $\dot{k}_p(t) = 0$ ), pero en cualquier otro punto,  $k_p$  o  $k_n$  o ambas, cambiarán a lo largo del tiempo en las direcciones que en cada punto indiquen los signos de las derivadas temporales  $\dot{k}_n$  y  $\dot{k}_p$ . Lo único que se puede especificar entonces son los signos de las derivadas parciales de las funciones  $F(\cdot)$  y  $G(\cdot)$ .

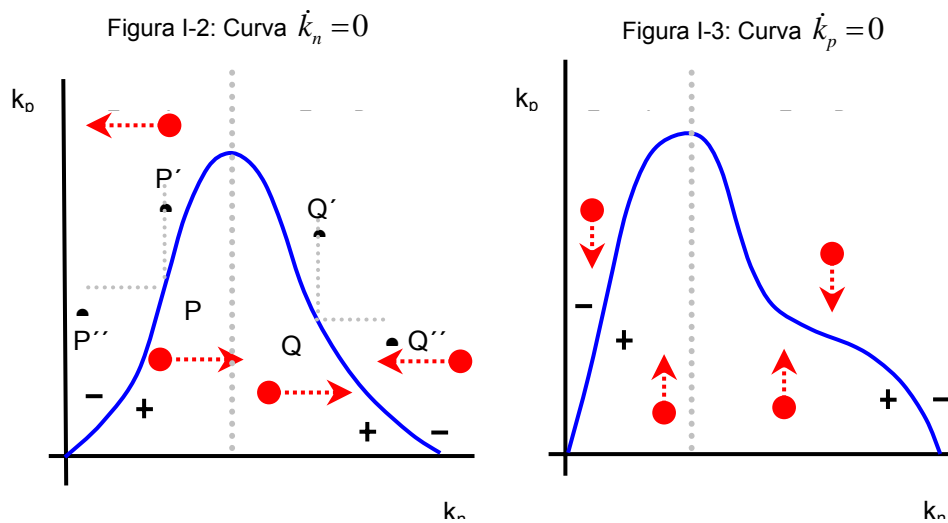
Interesa ahora examinar los puntos fuera de las curvas isoclinas del sistema (1) porque  $\dot{k}_n(t)$  es  $>$  ó  $<$  0 conforme  $F(\cdot)$  sea  $>$  ó  $<$  0; es decir,  $k_n$  es creciente (decreciente) en puntos donde  $F(\cdot)$  es positiva (negativa). Igualmente, el signo de  $\dot{k}_p$  está determinado por  $G(\cdot)$ .

Se empieza a trabajar sobre la figura I-2, que corresponde a la curva  $\dot{k}_n(t) = 0$  (aislada) y con una línea virtual punteada se divide el espacio-fase en dos zonas (A y B). Como la pendiente de la curva  $\dot{k}_n(t) = 0$  en el brazo A es positiva, es creíble suponer entonces que  $F_1 > 0$  y, por ecuación (5), necesariamente  $F_2$  tiene que ser negativa ( $F_2 < 0$ )<sup>220</sup>.

Se toma entonces un punto P de referencia cualquiera y se compara contra los puntos P' y P'', fuera de la curva. En P' el valor de  $k_n$  es igual que en P, pero el de  $k_p$  es mayor ( $dk_p > 0$ ), por ecuación (3) y dado que  $dk_n = 0$  podemos concluir que  $dF = F_2 dk_p < 0$ . Esto significa que el valor de  $F(\cdot)$  es menor en P' que en P,  $F(\cdot) < 0$  y, por tanto, que arriba de la curva de demarcación  $\dot{k}_n(t) < 0$ . Este ejercicio puede verificarse para todos los puntos arriba de la curva, como también, es obvio que todos los puntos por debajo tengan  $F(\cdot) > 0$  y  $\dot{k}_n(t) > 0$ . Si el sistema se mueve verticalmente,  $\dot{k}_n(t)$  experimenta un cambio de signo, pasa por tres fases: -, 0, +, en ese orden.

---

<sup>220</sup> Recuerde que  $F_1 = \frac{\partial F(\cdot)}{\partial k_n} = \frac{\partial \dot{k}_n}{\partial k_n}$  y para esta parte creciente de la curva no es posible que  $F_1 < 0$ .



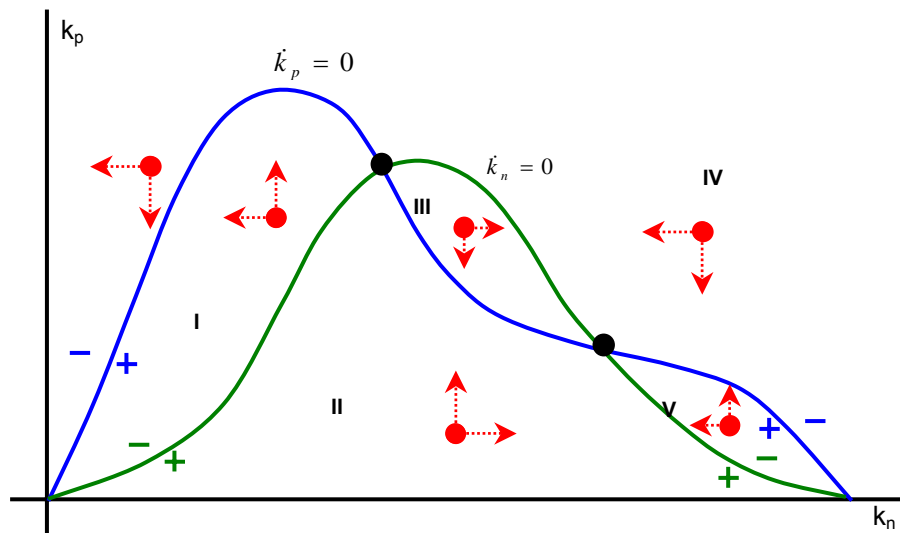
Si por el contrario, ahora se mantiene constante  $k_p$  ( $dk_p=0$ ) y  $k_n$  varía hacia la izquierda, un movimiento del sistema del estado P al P' ( $dk_p<0$ ), se obtiene  $dF=F_1 dk_n<0$  y se vuelven a verificar los resultados anteriores. En la figura I-2 puede observarse el sentido del cambio de  $\dot{k}_n(t)$  con los vectores direccionales (flechas).

Para el brazo B la pendiente de la curva  $\dot{k}_n(t)=0$  es negativa, por lo que es creíble suponer entonces que  $F_1<0$  y, por ecuación (5), necesariamente  $F_2$  tiene que ser negativa también ( $F_2<0$ ). Se sigue la misma secuencia de pasos. Ahora Q es el punto de referencia y se compara contra los puntos Q' y Q'', fuera de la curva. En Q' el valor de  $k_n$  es igual que en Q, pero el de  $k_p$  es mayor ( $dk_p>0$ ), por ecuación (3) y dado que  $dk_n=0$  podemos concluir que  $dF=F_2 dk_p<0$ . Esto significa que el valor de  $F(\cdot)$  es menor en Q' que en Q,  $F(\cdot)<0$  y, por tanto, que arriba de la curva de demarcación  $\dot{k}_n(t)<0$ . Todos los puntos por debajo tienen  $F(\cdot)>0$  y  $\dot{k}_n(t)>0$ . Si por el contrario, ahora se mantiene constante  $k_p$  ( $dk_p=0$ ) y  $k_n$  varía hacia la derecha, un movimiento del sistema del estado Q al Q'' ( $dk_p>0$ ), se obtiene  $dF=F_1 dk_n<0$ . Una vez más, quedan verificados los mismos resultados: valores de  $\dot{k}_n(t)$  positivos dentro de la curva y negativos fuera de ella (ver figura I-2).

El mismo procedimiento se replica para examinar los estados del sistema (1) que están fuera de la curva  $\dot{k}_p(t)=0$ . La forma de la curva es similar a la curva  $\dot{k}_n(t)=0$  y los resultados sobre los vectores direccionales son los mismos. Para el análisis de estabilidad de los puntos de equilibrio es suficiente indicar, entonces, que para el brazo A  $G_1>0$  y  $G_2<0$  y para el brazo B  $G_1<0$  y  $G_2<0$  (ver figura I-3).

A continuación vamos a combinar los diagramas de fase para las curvas  $\dot{k}_n(t)=0$  y  $\dot{k}_p(t)=0$  en un solo espacio-fase, con cinco regiones que lo conforman (ver figura I-4).

Figura I-4: Sistema conjunto SE-SA



Los campos vectoriales que definen estas cinco regiones permiten proyectar el movimiento del sistema (1) dependiendo de en que región se localice su estado inicial. Las posibilidades de *sendas o trayectorias de fase* que describen el movimiento del sistema son infinitas<sup>221</sup>, pero es suficiente bosquejar las más significativas; se refieren a las sendas que nos llevan a los puntos de equilibrio, en particular, para el análisis los equilibrios en los puntos  $k'$  y  $k^*$  (ver figura I-5)<sup>222</sup>.

### Tipos de equilibrio: estabilidad

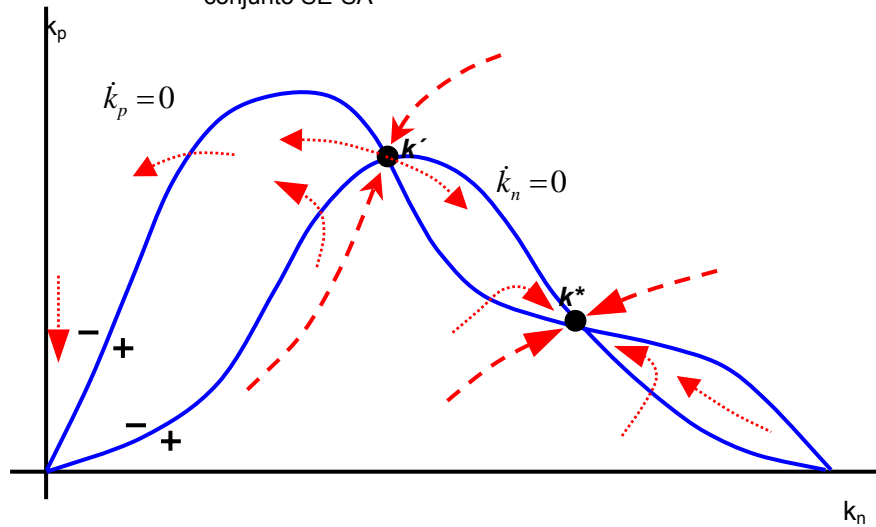
Como no tenemos más información sobre la no-linealidad del sistema (1), es usual recurrir a la técnica de linealización mediante un desarrollo en series de Taylor. Consiste en asumir una aproximación lineal en una vecindad suficientemente “pequeña” alrededor del punto de expansión de Taylor, usualmente este punto es un punto de equilibrio (ver Cuadro de apoyo I-1).

<sup>221</sup> Cabe aclarar que las sendas indican explícitamente las direcciones de movimiento de  $k_n$  y  $k_p$  a lo largo del tiempo, no proporcionan ninguna información específica sobre la velocidad o aceleración pues el diagrama de fases no dispone de un eje para el tiempo ( $t$ ). Digamos que no son en estricto sentido sendas temporales, sólo son *sendas de fase*. La única información cualitativa que se extrae sobre la velocidad es cuando el sistema se mueve a lo largo de una trayectoria cada vez más próxima a una curva de demarcación, la velocidad de aproximación disminuye progresivamente.

<sup>222</sup> Aunque  $(0, 0)$  y  $(k_n^{\max}, 0)$  son puntos de equilibrio también que no interesan para el análisis de esta investigación.



Figura I-5: Sendas de fase significativas del sistema conjunto SE-SA



**Cuadro de apoyo I-1: Linealización de un sistema de ecuaciones diferenciales no lineal**

La aproximación en series de Taylor se aplica a las funciones  $F(k_n, k_p)$  y  $G(k_n, k_p)$  alrededor de cada punto de equilibrio ( $k'$  y  $k^*$ ). El desarrollo de Taylor tiene la forma siguiente, para el punto  $k^*$ :

$$F(k_n, k_p) = F(k_n^*, k_p^*) + F_1(k_n^*, k_p^*) \cdot (k_n - k_n^*) + F_2(k_n^*, k_p^*) \cdot (k_p - k_p^*) + \frac{1}{2!} [F_{11}(k_n^*, k_p^*) \cdot (k_n - k_n^*)^2 + 2F_{12}(k_n^*, k_p^*) \cdot (k_n - k_n^*) \cdot (k_p - k_p^*) + F_{22}(k_n^*, k_p^*) \cdot (k_p - k_p^*)^2] + \dots + R_n$$

Cuando se toman los tres primeros términos del lado derecho de la ecuación se habla de una linealización del sistema (1); tal aproximación lineal puede escribirse como:

$$\begin{aligned} \dot{k}_n &= F(k_n, k_p) = F(k_n^*, k_p^*) + F_1(k_n^*, k_p^*) \cdot (k_n - k_n^*) + F_2(k_n^*, k_p^*) \cdot (k_p - k_p^*) \\ \dot{k}_p &= G(k_n, k_p) = G(k_n^*, k_p^*) + G_1(k_n^*, k_p^*) \cdot (k_n - k_n^*) + G_2(k_n^*, k_p^*) \cdot (k_p - k_p^*) \end{aligned}$$

Podemos expresar también estas ecuaciones en términos de las desviaciones del punto de equilibrio ( $\bar{k}_n - \bar{k}_n^*, k_n - k_n^*, k_n - k_n^*$ ; denotadas con una barra), o linealización reducida, así:

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{k}_n}{dt} - F_1(k_n^*, k_p^*) \cdot \bar{k}_n - F_2(k_n^*, k_p^*) \cdot \bar{k}_p &= 0 \\ \frac{d\bar{k}_p}{dt} - G_1(k_n^*, k_p^*) \cdot \bar{k}_n - G_2(k_n^*, k_p^*) \cdot \bar{k}_p &= 0 \end{aligned}$$

Esta forma simplemente muestra que para el análisis de estabilidad local es necesario sólo la matriz jacobiana evaluada en el punto de equilibrio ( $k_n^*, k_p^*$ ), asociada al sistema ( $J_E$ ):

$$J_E = \begin{bmatrix} F_1 & F_2 \\ G_1 & G_2 \end{bmatrix}_{(k_n^*, k_p^*)}$$

En concreto, requerimos para ello los signos del determinante y la traza  $|J_E|$  y  $tr(J_E)$ , dadas por:

$$|J_E| = F_1 G_2 - F_2 G_1 \text{ y } tr(J_E) = F_1 + G_2.$$

Dentro de tal vecindad es posible garantizar que la aproximación alcance para determinar con precisión exactamente el mismo equilibrio y reproduce trayectorias con la misma configuración general que el sistema no lineal original. Propiamente, se trata de un *análisis de estabilidad local*<sup>223</sup>. Justo es una técnica complementaria al análisis de fases anterior, pues permite identificar la naturaleza o tipo de equilibrio en términos de estabilidad.

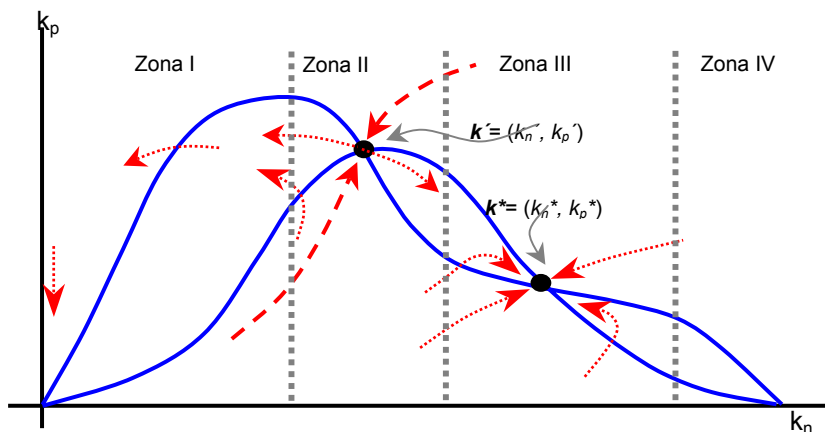
Mediante los campos vectoriales del análisis de fases sintetizado en la figura I-4, que definen las cinco regiones, es posible sugerir la existencia de cuatro puntos de equilibrio; uno trivial  $(0,0)$  y otro sin interés para nuestro análisis  $(k_n^m, 0)$ .

Los puntos de equilibrio  $\{k_n, k_p\}_{eq}$  que definen las zonas I a IV (figura I-6), son regiones asociadas a estos estados estacionarios del sistema:

$$\{k_n, k_p\}_{eq} = \{(0,0), (k'_n, k'_p), (k_n^*, k_p^*), (k_n^m, 0)\}$$

El análisis de estabilidad local se puede realizar para cada uno de los equilibrios. Sin embargo, se eliminan del análisis de estabilidad las zonas I y IV, asociadas con los puntos de equilibrio  $\{(0,0), (k_n^m, 0)\}$ . El primero, por carecer de interés para el análisis en general y, el segundo, porque en el texto se emplea una noción de *desarrollo* delimitada por el proceso de acumulación de capital producido; no tiene ningún sentido económico un estado del sistema conjunto SE-SA con niveles de stock de capital producido iguales a cero y capital natural al nivel máximo de su potencial. En consecuencia, analizamos la estabilidad de los puntos  $\{k_n, k_p\}_{eq} = \{(k'_n, k'_p), (k_n^*, k_p^*)\}$ .

Figura I-6. Análisis de estabilidad local en puntos de equilibrio  $k'$  y  $k^*$



<sup>223</sup> El análisis es “local” en el sentido que la variación de los parámetros estructurales del sistema SE-SA es “pequeña” que en la vecindad definida por la perturbación (“cuenca”) no hay un cambio drástico en él, tal que ocurra un “salto” de punto de equilibrio o estado estacionario.

La especificación del modelo dinámico es de carácter general al considerar sólo el signo de las primeras derivadas parciales para las funciones  $F(\cdot)$  y  $G(\cdot)$ . Esto es, el análisis es cualitativo, pero permite identificar en el espacio-estado (campo de fuerzas) los equilibrios y su naturaleza.

No es objeto de esta investigación un mayor detalle en la especificación dinámica de las relaciones funcionales de  $F(\cdot)$  y  $G(\cdot)$  y, por ende, poder definir la forma de las trayectorias asociadas a los puntos de equilibrio de interés. Un argumento “fuerte” es la naturaleza compleja que se deriva, pues el solo hecho de precisar, por ejemplo, una relación funcional tipo curva logística para la ecuación de reproducción (crecimiento) del capital natural,<sup>224</sup> suele derivar en un comportamiento caótico de este sistema (SA); aunque no son patrones puramente aleatorios, sí exhiben cambios repentinos de estabilidad (por la presencia equilibrios múltiples). En tal sentido, especificar la relación funcional no lineal para el capital natural, de manera aislada, resulta en tres observaciones: i) puede dar origen a caos determinístico, ii) y existe una dependencia sensible a las condiciones iniciales y iii) la predicción es virtualmente imposible.<sup>225</sup>

*Zona II:  $(k_n, k_p)_{eq} = (k'_n, k'_p)$ : equilibrio tipo punto de silla*

Del análisis de fases anterior hemos especificado  $F_1 > 0$  y  $G_2 < 0$  y, consistentemente, obtenido  $F_2 < 0$  y  $G_1 < 0$  asociadas, respectivamente. Sabemos por el comportamiento general interdependiente del sistema (ver figura I-1), que en esta zona las pendientes de las curvas isoclinas son:

$$m_{k_n} > m_{k_p} \text{ equivalente a } -\frac{F_1}{F_2} > -\frac{G_1}{G_2}$$

Un poco de álgebra y obtenemos que  $-1(F_1G_2 - F_2G_1) > 0$  y se cumple  $|J_E| = F_1G_2 - F_2G_1 < 0$ . Por su parte, claramente  $tr(J_E) = F_1 + G_2 < 0$  y, por ende, el punto de equilibrio  $(k'_n, k'_p)$  es uno tipo *punto de silla*.

<sup>224</sup> Como es usual encontrar en la literatura, y la razón a mi parecer es clara si analizamos el significado de la ecuación diferencial de la cual se obtiene la ecuación logística, son modelos de dinámica de poblaciones.

<sup>225</sup> La capacidad predictiva es importante porque está asociada a las implicaciones potenciales de política económico-ambiental. Sobre el análisis dinámico de un sistema determinista simple, como el de la ecuación logística, puede consultarse el análisis numérico de detalle en R. Shone (*Economic Dynamics*, Cambridge University Press, 1997; págs. 209-216).

Zona III:  $(k_n, k_p)_{eq} = (k_n^*, k_p^*)$ : equilibrio estable tipo nodo o foco (atractor)

De manera similar, del análisis de fases anterior hemos especificado  $F_1 < 0$  y  $G_2 < 0$  y, consistentemente, obtenido  $F_2 < 0$  y  $G_1 < 0$  asociadas, respectivamente. Sabemos por el comportamiento general interdependiente del sistema (ver figura I-1), que en esta zona las pendientes de las curvas isoclinas son:

$$m_{\dot{k}_n} < m_{\dot{k}_p} \text{ equivalente a } -\frac{F_1}{F_2} < -\frac{G_1}{G_2}$$

Es fácil obtener  $-1(F_1G_2 - F_2G_1) < 0$ , se cumple con  $|J_E| = F_1G_2 - F_2G_1 > 0$ . Por su parte, es clara la negatividad de la traza ( $tr(J_E) = F_1 + G_2 < 0$ ). Por lo que se trata de un punto de equilibrio  $(k_n^*, k_p^*)$  estable del tipo *nodo o foco (atractor)*<sup>226</sup>.

### 3. Sobre los conceptos de estabilidad y resiliencia

Muy recientemente se ha ido consolidando un concepto fundamental que dota de mayor significación a la sustentabilidad de todo proceso de desarrollo, éste es el concepto de *resiliencia* de un sistema. En la teoría ecológica se reconoce que la existencia de equilibrios múltiples en los SA obliga a centrar la discusión en el concepto de resiliencia. El concepto de apoyo más útil y cercano para definirlo con rigor ha sido el concepto de estabilidad de la teoría matemática del análisis de sistemas dinámicos<sup>227</sup>.

A partir de la evidencia empírica de los SA, disponible en la literatura ecológica, C. Perrings extrae tres características importantes para seguir esta estrategia de investigación:

i) el cambio en muchos ecosistemas terrestres no es continuo y gradual, sino más bien es interrumpido e impulsado hacia estados de reorganización repentina o súbita del stock de capital natural; esto ocurre después de largos periodos de aparente estabilidad hasta la presencia de una perturbación 'exógena' sobre los SA.

<sup>226</sup> Se hizo el ejercicio con los puntos de equilibrio asociados a las zonas I y IV, correspondiendo a un nodo o foco inestable (traza y determinante positivos) y un punto de silla (traza y determinante negativas), respectivamente; de cualquier manera se mantiene una especificación general consistente de la dinámica SE-SA.

<sup>227</sup> *Estabilidad*: Un equilibrio del sistema,  $\mathbf{k}^*$ , será estable si hay una vecindad de  $\mathbf{k}^*$ ,  $K'$ , tal que cualquier curva solución,  $\mathbf{k}(t)$ , con su origen,  $\mathbf{k}(0)$ , en  $K'$  tiende a  $\mathbf{k}^*$ . La unión de todas las curvas solución tenderán hacia  $\mathbf{k}^*$  conforme  $t \rightarrow \infty$  en su 'cuenca' (*basin*), denotada por  $B(\mathbf{k}^*)$ .

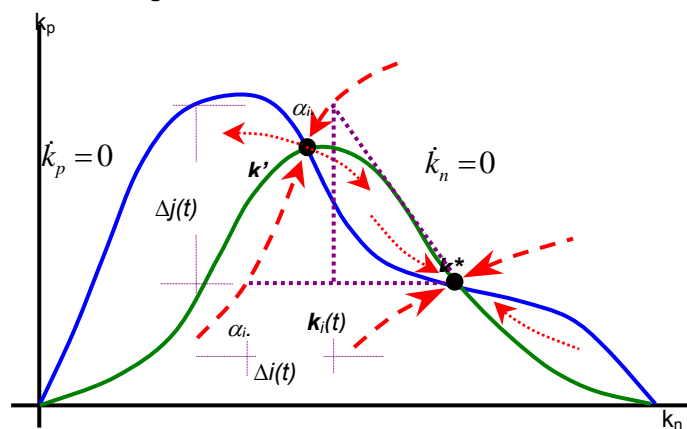
ii) los SA no tienen un equilibrio único, realmente los múltiples equilibrios definen funcionalmente los diferentes estados del sistema y caracterizan su estructura y diversidad.

iii) la dinámica y estabilidad de los SA varía de manera no lineal en sus múltiples escalas.

El concepto que se ha impuesto como más “preciso” se enfoca a estados del sistema lejos del equilibrio y define a la resiliencia como una medida de la perturbación que puede ser amortiguada antes de que el sistema ‘salte’ de cuenca y converja a otro estado de equilibrio (Holling, 1973)<sup>228</sup>. Implícitamente esta definición acepta que los equilibrios múltiples son localmente estables y, fundamentalmente, interesa establecer una medida sobre los límites de la estabilidad local de cada equilibrio<sup>229</sup>.

Las propiedades de la función de Liapunov son útiles para explorar sobre una medida de *resiliencia de un sistema*, que se define así: en un sistema ubicado en algún punto  $k_i(t)$  de la “cuenca” asociada al equilibrio localmente estable,  $k^*$ , la resiliencia es la perturbación máxima que puede soportar a los niveles de las variables ese estado del sistema sin ocasionar que éste abandone una vecindad  $\alpha_i$  entorno de  $k^*$  (Perrings, 1997). El estado inicial puede ser uno de equilibrio, aunque no necesariamente. Pero si el sistema está en  $k^*$  entonces la medida de su resiliencia en cualquier dirección  $i$ , es simplemente  $\alpha_i$ . Para toda  $i$  y  $t$ , la  $\alpha_i$  define la distancia en la dirección- $i$  siempre que  $|k_i(t) - k^*| < \alpha_i$  (ver figura I-7).

Figura I-7



<sup>228</sup> La otra definición hace referencia a una medida de resistencia a la perturbación del sistema y la velocidad de retorno al equilibrio (Pimm, 1984; O’Neill et al., 1989).

<sup>229</sup> La fragilidad de un sistema en fase de conservación puede interpretarse como evidencia que está cercano a los límites de estabilidad local.

Suponer que el sistema está en entonces  $\mathbf{k}_i(t)$  lejos del nodo estable definido por  $\mathbf{k}^*$  pero dentro de una vecindad  $B_{\alpha_i}(\mathbf{k}^*)$ , recibe una perturbación en la dirección-j de magnitud  $\Delta_j$  que lo mueve hasta la frontera de  $B_{\alpha_i}(\mathbf{k}^*)$ , justo en  $\alpha_j$ . Este sistema será resiliente ante tal perturbación si  $|\mathbf{k}_i(t) + \Delta_j| < \alpha_j$ , en cualquier otra situación no lo será<sup>230</sup>. Entre más cerca está el sistema de los límites de estabilidad local (frontera  $B_{\alpha_i}(\mathbf{k}^*)$ ) menos resiliente es ante perturbaciones (ver figura I-7).

Así, las medidas de resiliencia del sistema en las direcciones i y j son simplemente:  $\alpha_i - \mathbf{k}_i(t)$  y  $\alpha_j - \mathbf{k}_j(t)$  respectivamente. Si una perturbación en la dirección-i resulta en la reducción de esta medida, entonces el sistema se dice que ha perdido resiliencia con respecto al cambio en esa dirección. Si la perturbación es tan grande que resulta en una medida negativa, el sistema puede saltar a otra cuenca y este cambio puede ser irreversible.

Es claro que fuera de esta vecindad el sistema salta de cuenca hacia la del lado izquierdo de la senda que pasa por  $\mathbf{k}'$  (figura I-7). Se trata de un 'salto' irreversible que se vuelve *crítico* porque todas las trayectorias de la nueva cuenca tienen un destino catastrófico (niveles de acervos de capitales iguales a cero).

Si gradual y permanentemente la resiliencia de un sistema se va reduciendo a cero, el sistema se volverá más frágil a perturbaciones "mínimas", crece aceleradamente el riesgo y la incertidumbre sobre el control de las trayectorias de evolución del sistema. Por esta razón considero que el brazo estable de la senda que pasa por el equilibrio 'punto de silla' ( $\mathbf{k}'$ ) es un *equilibrio crítico* del sistema (SE-SA) y la senda una frontera que ningún estado del sistema debe rebasar; en este sentido se entiende como *senda umbral global* para el sistema conjunto SE-SA<sup>231</sup>. Pero además, si el sistema es observado de manera imperfecta (alta incertidumbre), cuanto más próximo el sistema esté del límite estructural, mayor es el potencial de ocurrencia de efectos no previsible y 'catastróficos', llamados por C. Perrings: riesgos del desarrollo de un sistema finito.

Es importante destacar que si la resiliencia se ha definido con respecto a la perturbación en alguna cierta dirección, entonces se puede discutir la resiliencia del sistema conjunto (SE-SA) con respecto al cambio en el valor del stock de capital natural, pero esto no significa que se discute sobre la resiliencia ecológica de los SA (Perrings, 1997).

A mi juicio, un resultado muy importante del modelo de C. Perrings es que sugiere que el costo implicado por las ganancias en bienestar del proceso de desarrollo (que es acumulación por

<sup>230</sup> Estrictamente se define  $B_{\alpha_i}(\mathbf{k}^*) = \{\mathbf{k}_i(t) \in K : |\mathbf{k}_i(t) - \mathbf{k}^*| < \alpha_i \forall i \text{ y } \lim_{t \rightarrow \infty} |\mathbf{k}_i(t) - \mathbf{k}^*| = 0\}$ .

<sup>231</sup> No se trata de estabilidad global de la teoría matemática de los sistemas dinámicos.

$K_n \rightarrow K_p$ ) puede ser justo el costo de la pérdida de resiliencia del sistema global. Lo cual abre la posibilidad medir la escasez relativa de una forma de capital respecto de la otra. Por estas razones se considera necesario construir también una regla de transformación entre valores económicos y valores físicos para los flujos y acervos del sistema SE-SA (ver sección 2.2-4).

En un marco así, *una estrategia de desarrollo económico no es sustentable si no es resiliente.*

## **ANEXO II Análisis de flujos físicos, implicaciones para elaborar sistemas contables y “nuevos” instrumentos para la gestión ambiental sustentable”**

### **CONTENIDO**

- 1. Introducción**
- 2. Evolución del análisis de flujos físicos y evaluación crítica**
- 3. “Nuevos” instrumentos de política ambiental sustentable**
- 4. Requerimientos para la construcción de sistemas de contabilidad económico-ambiental**
- 5. Conclusiones: Una recomendación para México**



## 1. Introducción<sup>232</sup>

Desde la Cumbre de Río (1992) se generalizó la necesidad de volver operativo y evaluable el proceso de desarrollo sustentable, el reto permitió cobrar conciencia sobre sus implicaciones: tener información objetiva sobre las disponibilidades totales y precisar las condiciones bajo las cuales se realizan las asignaciones en una sociedad.

Se interpretó como construir capacidades institucionales para evaluar objetivos operativos y efectos de las decisiones de asignación económico-ambiental. Es decir elaborar modelos teórico-empíricos en los cuales basar decisiones de política pública, para ello se volvía prioritario avanzar en:

- 1) Un cuerpo de conocimientos (teoría) que fundamentara los nexos entre las actividades económicas y las consecuencias ambientales (biofísicas) que genera. Derivar una familia de modelos con los cuales mejorar nuestra capacidad de anticipación, simulación de efectos y evaluación de los impactos ambientales de las decisiones humanas; y
- 2) Un sistema de registros contables sobre los flujos y acervos físicos.

Los dos ámbitos señalados, elaboración de sistemas analíticos y sus sistemas de observación, han merecido una fuerte atención durante los años noventa, pero son realmente dignos de destacar los avances en el conocimiento y descripción (observación y medición) del *sistema físico de sustentación* de un sistema económico (economía, SE) y su conjunto de ecosistemas involucrados, directa o indirectamente (o sistemas ambientales, SA).

Desde un ámbito teórico se ha centrado el interés en abordar el problema de la interdependencia entre un SE y sus SA asociados. Para ello, la teoría económica se ha nutrido de los desarrollos en la teoría ecológica en al menos cuatro áreas, según C. Perrings 2002): 1) Comprensión de la dinámica de *sistemas ecológicos jerárquicos*; 2) comprensión de los factores que alteran la *capacidad de carga y asimilación* del medio ambiente; 3) investigación de los vínculos entre *biodiversidad y funciones ecológicas*; 4) el trabajo sobre *resiliencia de ecosistemas* brinda un enfoque novedoso para entender la estabilidad y sustentabilidad de un SE.

---

<sup>232</sup> Para que el lector relacione directamente conceptos y términos de la literatura consultada, se conservan los acrónimos en inglés.

Sin embargo, elaborar modelos teórico-empíricos sobre un sistema físico de sustentación SE-SA requiere también de la construcción de un sistema de registro sistemático o *sistema de contabilidad físico*. Este marco contable tiene sentido para el análisis siempre que este vinculado a un sistema de cuentas nacionales (SCN), porque un objetivo superior es poder establecer nexos de causalidad entre actividades humanas de producción y consumo y los cambios en la calidad de los SA.

Con el fin de extraer lecciones para nuestro país se considero pertinente revisar la experiencia europea, porque han conformado el proyecto comunitario de construcción de sistemas contables con flujos físicos más avanzado y ambicioso del planeta. El anexo se estructura en tres secciones: sección 2) una evolución de los marcos analíticos y sus sistemas de contables respectivos, donde se encuentran elementos para la crítica a las técnicas de análisis de flujos físicos; sección 3) se exponen las nuevas expectativas para el análisis con la ampliación sustantiva de instrumentos e indicadores si se extienden ambientalmente las tablas I-O; sección 4) se exponen los requerimientos (implicaciones) para la construcción de sistemas de contabilidad nacional extendidos ambientalmente. En una última sección se presentan las conclusiones.

## 2. Evolución del análisis de flujos físicos y evaluación crítica

El interés por integrar al análisis económico-ambiental contemporáneo la interdependencia con el sistema físico tiene en el trabajo Georgescu-Roegen (1971) un amplio reconocimiento fundacional. Aunque esta preocupación no es propia al pensamiento económico del siglo XX. Sobre el concepto de flujos materiales Fischer-Kowalski (1997) documentan su origen y evolución, desde mediados del siglo XIX, a través de la retrospectiva en varias disciplinas (biología/ecología, economía/sociología, antropología cultural y geografía social). Como análisis de flujos materiales lo han conectado usualmente a la noción de *metabolismo industrial o social*.

Durante los años noventa esta tradición del pensamiento creció aceleradamente bajo la denominación de *Análisis de flujos materiales (o físicos; MFA/SFA<sup>233</sup>)*. Hay dos trabajos de gran influencia en los desarrollos de frontera. El primero, en un modelo estático de equilibrio general que integra un principio físico: “todo sistema físico cerrado cumple con un principio de conservación de la masa” (Ayres y Kneese, 1969). El otro trabajo es la perspectiva estructural y dinámica de determinación conjunta SE-SA (Perrins, 1987).

Este campo de conocimiento no ha estado fuera de la confrontación entre escuelas de pensamiento. Posiciones neoclásicas que llevan al extremo el empleo de instrumentos de análisis cuya aplicación pasa siempre por la valuación monetaria de ‘lo ambiental’ (Solow, 1986), confrontadas con posiciones que ganan consensos en la economía ecológica (EcEc): “*Es necesario desarrollar otras formulaciones de la sustentabilidad en términos físicos,*

---

<sup>233</sup> MFA: material flow analysis; y SFA: substance flow analysis.

*centradas en la estabilidad de los sistemas y en indicadores físicos*" (Common y Perrings, 1992; p. 30).

En la EcEc una posición de consenso es que las evaluaciones monetarias y las decisiones de mercado son *insuficientes* para evaluar política ambiental sustentable. Sostienen que para la gestión ambiental es irremplazable un registro sistemático y el análisis de los flujos y acervos físicos. En buena medida las observaciones críticas se pueden resumir así<sup>234</sup>:

1. Evaluación monetaria reduce los múltiples servicios ambientales (fuente de recursos, sumidero de desechos, conservación de biodiversidad, etc) a una sola medida monetaria; no toma en consideración adecuadamente la complejidad de los SA.
2. Además, no existen mercados para cierto grupo de funciones ambientales de sustentación de la vida, tales como la estabilidad del cambio climático, la conservación de la capa de ozono o los ciclos de nutrientes o hidrológico, entre otros más. Como son funciones ambientales disponibles sin costo para la economía en general, los sistemas contables no registran adecuadamente estos problemas ambientales.
3. Los precios de mercado reflejan costos de oportunidad y, por tanto, no incluyen aspectos sobre la distribución intergeneracional o la irreversibilidad de tipos de capital natural.
4. Indicadores monetarios cubren sólo una pequeña fracción de las pérdidas de capital natural.
5. Como los precios de mercado fluctúan permanentemente, los valores monetarios no son las señales más adecuados para la planeación de largo plazo.

A principio de los noventa se cobró una fuerte conciencia de que el conocimiento de la dinámica de los flujos y acervos físicos (materia y energía) era insustituible, porque revelan la cantidad y la estructura del *throughput* material que pasa por un SE y sus intercambios materiales con los SA de sustentación; esto es, mejorar nuestro conocimiento del sistema físico de sustentación SE-SA. Se consideró que los indicadores de sustentabilidad derivados de este tipo de análisis serían medidas más efectivas para la planeación y el control, y respetando identidades contables básicas, el análisis podría realizarse a escala nacional, regional, y sectorial, siempre que se construyeran los sistemas contables correspondientes.

No es nada casual que en la última década la Comunidad Europea haya puesto como alta prioridad la construcción de sistemas de contabilidad física, en diferentes modalidades, en el

---

<sup>234</sup> según Faucheux y O'Connor (1998).

marco de un SCN<sup>235</sup>. Sintéticamente, la trayectoria de evolución se resume así: MFA y MIOT-híbridas → NAMEA → PIOT<sup>236</sup>.

## 2.1 Sobre los MFA (/SFA) e indicadores

El principio para construir la contabilidad de flujos y acervos físicos de un SE es la primera ley de la termodinámica, en la forma más operativa: un balance de materiales, aunque sin complicaciones se pueden incluir los balances de energía y, por ende, los entrópicos (2ª ley). Cualquiera sea la localización espacial de un SE, para cada periodo de análisis, las materias primas, agua y aire extraídos de los SA, el total de los inputs al SE,  $R$ , que se transforman en productos, debe idénticamente igualar al total de los outputs del SE,  $W$  (sean mercancías o desechos), más la acumulación neta de materiales en el sistema. Formalmente expresada en tiempo continuo ( $t$ ) mediante una ecuación de balance general:  $dS(t)/dt=R(t)-W(t)$ .

Este principio de balance de materiales se cumple siempre, tanto para la economía en su conjunto como para cualquier nivel de agregación que se defina para la estructura de un SE: región, estado, sector, empresa, hogar (EUROSTAT, 2001). Para compilar consistentemente una cuenta de flujos materiales de un SE es necesario establecer con precisión las fronteras entre el SE y los SA, se contabilizan sólo los flujos que cruzan alguna frontera --- $R$  lo hace con la frontera de los SA y  $W$  con la del SE<sup>237</sup>.

Una representación esquemática en términos más contables (Figura 1) incluye “todos” los flujos inputs y los outputs importantes para describir la composición del “*metabolismo*” físico del SE; se muestra la dependencia de las importaciones y el crecimiento físico de su infraestructura, así como también la cantidad de materiales que regresan a los SA.

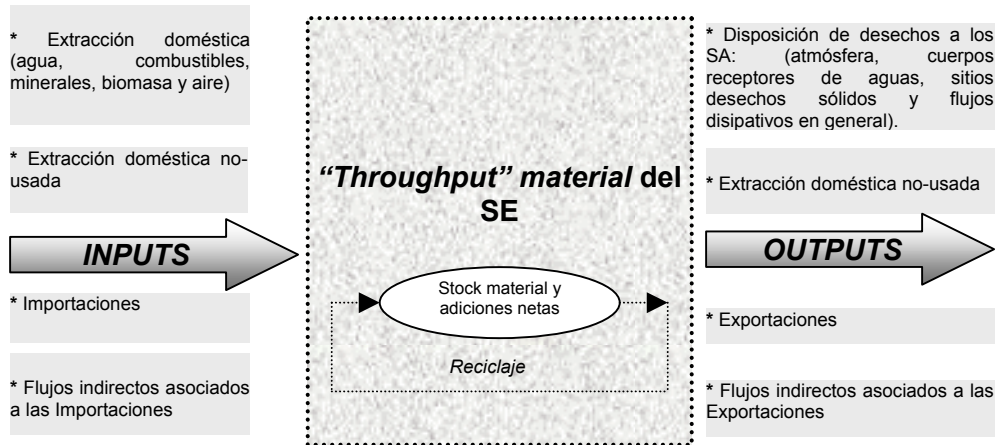
---

<sup>235</sup> La experiencia de origen proviene de algunos países de la Unión Europea (Holanda, Alemania, etc.) y la OECD recupera y sistematiza este esfuerzo pionero en el mundo. Un grupo de países ha terminado o está culminando un MFA con la metodología expuesta como nuestro referente (EUROSTAT, 2001). Análisis de flujos materiales completos han sido presentados para USA, Japón, Austria, Alemania y los países bajos (Adriaanse *et al.* 1997; Matthews *et al.* 2000). Existen además MFA para Italia, Dinamarca, Finlandia, Suecia, Reino Unido, Francia y China (OECD, 2000); igualmente, existe el primer MFA para 15 países de la UE con su cálculo respectivo del indicador de requerimientos materiales totales (TRM; Bringezu y Schütz, 2001).

<sup>236</sup> MIOT: Monetary Input-Output table; MIOT-híbridas: es una MIOT con vectores ambientales adaptados; NAMEA: National accounting matriz including environmental accounts; y PIOT: physical Input-Output table.

<sup>237</sup> Como se describe en el SEEA (United Nations 1993, 2001), la esfera económica es definida en relación cercana con los flujos considerados por el SCN convencional; así, todos los flujos conectados a los tres tipos de actividades económicas (producción, consumo y cambio de acervos) usualmente referidas en el SCN son las partes constitutivas del SE. Por el lado de la esfera ambiental, ésta comprende los flujos y acervos de recursos diferentes a los intercambiados en un sistema de mercados.

Figura 1



Los inputs materiales al SE comprenden la extracción interna de varios grupos de materiales, extracción interna 'no-usada', importaciones y flujos indirectos asociados a estos flujos. Estos insumos materiales pueden ser acumulados dentro del SE (adición neta al acervo), consumidos internamente dentro del periodo de análisis o cruzar las fronteras del SE de regreso a los SA como desechos o exportados a otros SE. Igualmente, hay flujos indirectos asociados al producto exportado<sup>238</sup>.

La adición neta al acervo describe la acumulación anual de materiales dentro del SE y puede ser llamado "crecimiento físico" del SE. Los materiales que constituyen este acervo son materiales de construcción para la nueva infraestructura y bienes durables tales como carros y maquinaria industrial (etc.). Tales indicadores de flujos materiales pueden relacionarse con indicadores monetarios (como el PIB *per cápita*) para proporcionar información sobre la productividad del recurso (eco-eficiencia) en un SE (Spangenberg *et al.* 1998).

Del esquema general anterior (figura 1) puede derivarse un conjunto diverso de indicadores sobre uso de recursos materiales que enriquecen la descripción del llamado "metabolismo" biofísico de una sociedad; se agrupan en indicadores i) input, ii) output y iii) de consumo, y se definen en la tabla 0.

<sup>238</sup> Una aplicación de análisis de inventario que muestra la flexibilidad de los MFA, es un modelo que describe el proceso de acumulación de 'mobiliario y equipamiento' de una sociedad. Aquí la acumulación de acervos físicos se aborda como proceso dinámico mediante:  $dS/dt=(R+M)-(X+W)$ , donde se involucra el sector externo con exportaciones (X) e importaciones (M) de materiales. Asocia parámetros de conducta individual y colectiva en relación a los flujos materiales mediante parámetros específicos de acervo (por ejemplo, *Saturación del acervo*, *Tiempo de residencia* y *Desviación estándar*), de consumo (coeficiente de menaje o mobiliario reutilizados entre nuevos) y de output (coeficiente de materiales depositados entre reciclados) (Binder, Bader, Scheidegger y Baccini; 2001).

<b>Tabla 0. Indicadores materiales por <i>inputs</i>, <i>outputs</i> y consumo</b>	
Indicadores inputs:	<i>Input Material Directo (IMD)</i> . Comprende todos los materiales con valores económicos y directamente usados en actividades de producción y consumo; IMD es igual a la suma de extracción interna más importaciones.
	<i>Inputs Material Total (IMT)</i> . Es igual al IMD más la extracción interna no-usada.
	<i>Requerimiento Material Total (RMT)</i> . En adición al IMT, incluye el flujo indirecto (usado y no-usado) asociado a las importaciones de un SE. Así, el RMT es el indicador input material más abarcante, pues contiene todos los flujos inputs ilustrados en el es
Indicadores outputs:	<i>Output procesado interno (OPI)</i> . Es igual al flujo 'outputs hacia los SA 's' en el esquema general y comprende todas los flujos de salida de materiales usados de origen interno y externo. El OPI incluye las emisiones a la atmósfera y cuerpos receptores de
	<i>Output Material Directo (OMD)</i> . Es la suma del OPI más las exportaciones, describe la cantidad total de output material directo, ya sea del ambiente propio y provenientes de otras economías.
	<i>Output Material Total (OMT)</i> . Incluye adicionalmente al OMD también a la extracción interna no-usada, así comprende todas las tres categorías de flujos outputs del esquema general.
Indicadores de consumo:	<i>Consumo Material Interno (CMI)</i> . Mide la cantidad total de materiales usados dentro del SE, excluye los flujos indirectos. Así, CMI es el equivalente más cercano al ingreso agregado en el SCN convencional. El CMI se calcula sustrayendo las exportaciones del
	<i>Consumo Material Total (CMT)</i> . Incluye, además del CMD, también los flujos indirectos asociados a las importaciones y exportaciones y puede calcularse sólo mediante el empleo de técnicos de I-O. El CMT es igual a los RMT menos las exportaciones y sus flujos

Fuente: EUROSTAT (2001).

### *Balance del intercambio físico (BIF)*

El Balance de Intercambios (o comercio) Físico<sup>239</sup> es uno de los indicadores más importante que puede derivarse de los MFA, expresa en cuánto una economía de un país o región depende de inputs de recursos provenientes de otros espacios (países/regiones) y en qué grado el consumo material interno depende de la extracción de recursos propios y del exterior. Además, un BIF puede integrar al análisis el suelo (comprometido) y los desechos 'incorporados' en los flujos de productos de importación y exportación. Las observaciones y comentarios críticos se resumen en la parte final de la sección 2.2.

### **2.2. Análisis I-O extendido ambientalmente: de una *MIOT-híbrida* a una *PIOT***

Desde el trabajo original de W. Leontief (ver compilación de obra, 1961) las tablas I-O describen cómo las industrias están interrelacionadas a través de la producción y el consumo mediante transacciones monetarias; representan actos de compra y venta de bienes, servicios y bienes de capital.

<sup>239</sup> Aunque en EUROSTAT (2001) los balances se refieren a las actividades de comercio que un SE establece con otros, la noción es compatiblemente generalizada a todas las actividades de intercambio sean o no sancionadas por el sistema de mercados.

Los modelos I-O suponen que cada industria consume producto de otras industrias en proporciones (coeficientes) fijas con el fin de producir su propio y único producto. Bajo este supuesto de tecnología lineal, representado por una matriz  $\mathbf{A}$  (*dim: nxn*), con  $\mathbf{y}$  como la demanda final de consumo privado y gobierno más las exportaciones (netas) y  $\mathbf{x}$  el producto total de las industrias o sectores. En condición de balance de mercado, la cantidad producida  $\mathbf{x}$  (oferta) es idénticamente igual a la cantidad consumida por las industrias ( $\mathbf{Ax}$ ) más la destinada a la demanda final ( $\mathbf{y}$ ):  $\mathbf{x}=\mathbf{Ax}+\mathbf{y}$ . Siempre que exista la inversa es posible obtener una solución para el producto total de los sectores:  $\mathbf{x}=(\mathbf{I}-\mathbf{A})^{-1}\mathbf{y}$ .

Las extensiones ambientales del análisis I-O (anterior), que empezaron en los 70's, con estudios de intensidad de uso energético (Bullard y Herendeen, 1975) y a la fecha se usan en modalidades más amplias y finas, han sido la vía regia del análisis I-O ambiental que se apoya en MIOT-híbridas; donde los flujos son medidos en unidades monetarias y físicas. Un estudio tipo *survey* reciente sobre la evolución de las extensiones ambientales del análisis I-O puede consultarse en Duchin y Steenge (1999).

Con un modelo básico de este tipo se explota, adicionalmente, el supuesto de tecnología lineal, pero ahora formulado en los términos siguientes: la cantidad de "intervención ambiental"<sup>240</sup> asociada a una industria (sector) es proporcional a la cantidad de producto de esa industria (sector). El supuesto se formaliza si definimos una *matriz B* (*dim qxn*) de *intervención ambiental*, cuyos elementos representan cantidades requeridas de contaminantes emitidos y recursos naturales usados para producir una unidad de producto de cada industria (sector), en valores monetarios.

Así, los requerimientos totales, directos e indirectos, de contaminantes liberados al ambiente y de extracción de recursos naturales para satisfacer una demanda final  $\mathbf{y}$ , pueden calcularse mediante:

$$\mathbf{m}=\mathbf{B}\cdot(\mathbf{I}-\mathbf{A})^{-1}\cdot\mathbf{y}. \quad (0)$$

Donde  $\mathbf{m}$  es el vector de cargas totales ambientales directas e indirectas. Si deseamos conocer la contribución a las cargas totales desde las diferentes categorías de demanda final, simplemente se diagonaliza  $\mathbf{y}$  para obtener una matriz de cargas ambientales  $\mathbf{M}$  (*dim qxn*) dada por:

$$\mathbf{M} = \mathbf{B}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{y} \quad (0')$$

---

<sup>240</sup> El conjuntos de flujos físicos input y output del SE se expresan como "presiones" sobre los SA, cada una de estas presiones representa una posibilidad de intervención ambiental.

Como puede observarse el análisis I-O extendido ambientalmente se reduce a dos matrices (**A** y **B**) y un vector (**y**). El mecanismo consiste en un vector **y** de demanda final dado, que distribuye el ingreso total disponible de un país (región) entre productos usados para el consumo final, pero que en realidad impulsa todas las actividades de producción y sus efectos ambientales asociados. Usualmente se ajusta el número de productos al máximo de sectores o industrias.

A la fecha, los marcos contables de referencia para elaborar tablas I-O extendidas ambientalmente son dos: 1) el SCN de Naciones Unidas y 2) el marco para integrar cuentas ambientales en SEEA-2003 (UN, 2003). Ambos marcos describen la estructura de las tablas y los métodos para elaborar MIOT y MIOT-extendida ambientalmente, incluye PIOT; se dejan abiertas opciones para su implementación.

El cambio realmente sustantivo de todos estos desarrollos se ha dado con la elaboración de una base empírica diferente, el núcleo del análisis I-O ya no es una MIOT con extensiones ambientales, ahora es una PIOT. Esta es ya la tendencia que apuntala la Comunidad Europea (CE) y es muy seguro que se generalice al resto del mundo como un horizonte a alcanzar en el largo plazo.

Se ha mencionado una NAMEA como una de las opciones para extender ambientalmente una MIOT, se volverá a mencionar como la opción intermedia para arribar a una PIOT, incluso para la CE es una recomendación general. Sin embargo, por el alcance analítico del Anexo II es necesario mejor mostrar el “estado de frontera” sobre una PIOT.

### **Hacia una PIOT y un modelo I-O básico (de Konijn *et al*; 1997)**

Propiamente hasta la versión SEEA-2003 (UN, 2003) quedaron integradas las cuentas físicas y una de ellas es la PIOT; como el registro de todos los flujos físicos (relevantes ambientalmente) asociados con las actividades económicas como se definen en el SCN (UN, 1968; 1993). Una PIOT registra sistemáticamente flujos de productos físicos, extracción de materiales de los SA, oferta y uso de desechos y residuos, emisiones a los SA y variaciones en los acervos.

Además una PIOT usa métodos similares de clasificación (actividades y productos) y de reparto (distribución) de flujos físicos intersectoriales cuando no existen (como el caso de los desechos) como lo hace una MIOT. En consecuencia, ambas pueden combinarse<sup>241</sup> para realizar análisis económico-ambiental a la escala espacial de la base empírica (nacional o regional) disponible.

---

<sup>241</sup> Evidentemente la combinación no es un procedimiento simple, inicia con la elaboración de tablas de oferta y uso monetarios y ambientales y culmina con la transformación de tablas de oferta/uso asimétricas en tablas I-O



En menos de 10 años se habla ya de generaciones de PIOT. En un estudio (*survey*) muy reciente sobre el ‘estado del arte’ en la construcción de una PIOT, Hoekstra y van den Bergh (2006), identifican tres versiones: básica, extendida y completa. La *PIOT-básica* usa una estructura similar a una MIOT; la *PIOT-extendida* desagrega procesos de producción en estructurales y auxiliares, pero enfocado a los flujos de productos dentro de la economía, que es en realidad una generalización del modelo de Konijn *et al.* (1997); y la *PIOT-completa*, propuesta por Hoekstra y van den Bergh, y que simplemente integra residuos, embalaje, reciclado, disposición de desechos e incineración. En consecuencia se considera pertinente exponer brevemente el modelo de Konijn *et al.* (1997) como un “prototipo” y mostrar algunas posibilidades del análisis I-O basado en una PIOT y de generación de “nuevos” indicadores ambientales (físicos).

### Modelo I-O de flujos físicos de P. Konijn et al.(1997)

El punto de partida es una MIOT estándar (*homogénea* o actividad por actividad), cuya estructura básica es como la Tabla 1, cumple con dos identidades contables:

$$Zi + Fi - m = x \quad (1)$$

$$i'Z + i'V = x' \quad (2)$$

Tabla 1. MIOT				
	Actividades (industrias)	Demanda final	Importaciones	Total
Actividades (industrias)	<b>Z</b>	<b>F</b>	<b>-m</b>	<b>x</b>
Inputs primarios	<b>V</b>			<b>Vi</b>
Total	<b>x'</b>	<b>i'F</b>		

**Z:** Demanda intermedia de las actividades por productos de las actividades;  
**F:** Demanda final para los productos de las actividades;  
**m:** Importación de productos de las actividades;  
**x:** Producción interna de las actividades;  
**V:** inputs primarios para las actividades.

---

simétricas, el camino está lleno de detalles y de procedimientos auxiliares de cálculo y no pueden tratarse en este Anexo.

Una PIOT con la estructura de la Tabla 2, cumple con tres identidades contables básicas:

$$\mathbf{Z}_s \mathbf{i} + \mathbf{F}_{sa} \mathbf{i} + \mathbf{F}_{sf} \mathbf{i} - \mathbf{m}_s = \mathbf{x}_s \quad (3)$$

$$\mathbf{Z}_p \mathbf{i} + \mathbf{F}_{pa} \mathbf{i} + \mathbf{F}_{pf} \mathbf{i} - \mathbf{m}_p = \mathbf{x}_p \quad (4)$$

Y, sólo si cada fila de la tabla tiene las mismas unidades de medida:

$$\mathbf{i}'\mathbf{Z}_s + \mathbf{i}'\mathbf{Z}_p = \mathbf{x}'_s \quad (5)$$

<b>Tabla 2. PIOT</b>					
	Materiales secundarios (Uso para transformación a)	Uso final por		Importaciones	Output Total interno
		Actividades (industrias)	Demanda final		
Materiales secundarios	$\mathbf{Z}_s$	$\mathbf{F}_{sa}$	$\mathbf{F}_{sf}$	$-\mathbf{m}_s$	$\mathbf{x}_s$
Materiales primarios	$\mathbf{Z}_p$	$\mathbf{F}_{pa}$	$\mathbf{F}_{pf}$	$-\mathbf{m}_p$	$\mathbf{x}_p$
Input Total	$\mathbf{x}'_s$				

$\mathbf{Z}_s$ : Uso para la transformación de materiales secundarios para la producción de materiales secundarios;  
 $\mathbf{F}_{sa}$ : Uso de materiales secundarios por actividad;  
 $\mathbf{F}_{sf}$ : Uso final de materiales secundarios por categorías de demanda final;  
 $\mathbf{m}_s$ : Importaciones de materiales secundarios;  
 $\mathbf{x}_s$ : Producción interna de materiales secundarios;  
 $\mathbf{Z}_p$ : Uso para la transformación de materiales primarios para la producción de materiales secundarios;  
 $\mathbf{F}_{pa}$ : Uso de materiales primarios por actividad;  
 $\mathbf{F}_{pf}$ : Uso final de materiales primarios por categorías de demanda final;  
 $\mathbf{m}_p$ : Importaciones de materiales primarios;  
 $\mathbf{x}_p$ : Producción interna de materiales primarios.

En la tabla 2 cualquier ‘pérdida o adición’ de otros materiales en los procesos de producción son registrados en categorías especiales las cuales son clasificadas como materiales primarios. De tal manera que input total de los procesos de producción iguala al output total  $\mathbf{x}_s$  (dado que todas las entradas tienen la misma unidad).

Si mantenemos el supuesto de constancia entre requerimientos materiales y valores del output producido, se pueden definir las matrices de coeficientes siguientes:

$$\mathbf{A}_s = \mathbf{Z}_s(\hat{\mathbf{x}}_s)^{-1} \quad (6)$$

$$\mathbf{A}_p = \mathbf{Z}_p(\hat{\mathbf{x}}_s)^{-1} \quad (7)$$

$$\mathbf{A}_{sa} = \mathbf{F}_{sa}(\hat{\mathbf{x}})^{-1} \quad (8)$$

$$\mathbf{A}_{pa} = \mathbf{F}_{pa}(\hat{\mathbf{x}})^{-1} \quad (9)$$

Con:

$\mathbf{A}_s$ : Uso de materiales secundarios por unidad física de output de materiales secundarios; 2

$\mathbf{A}_p$ : Uso de materiales primarios por unidad física de output de materiales secundarios; 1

$\mathbf{A}_{sa}$ : Uso final de materiales secundarios por unidad monetaria de output de las actividades; 3

$\mathbf{A}_{pa}$ : Uso final de materiales primarios por unidad monetaria de output de las actividades;

Adicionalmente definimos:

$$\mathbf{A} = \mathbf{Z}(\hat{\mathbf{x}})^{-1} \quad (10)$$

$$\mathbf{W} = \mathbf{V}(\hat{\mathbf{x}})^{-1} \quad (11)$$

Donde  $\mathbf{A}$  es la matriz de coeficientes I-O monetaria homogénea (o actividad por actividad) y  $\mathbf{W}$  representa los coeficientes inputs primarios de las actividades. Podemos usar  $\mathbf{A}$  para describir la ec. 1 para la MIOT:

$$\mathbf{Ax} + \mathbf{Fi} - \mathbf{m} = \mathbf{x} \quad (12)$$

Usando  $\mathbf{W}$ , obtenemos para los inputs primarios:

$$\mathbf{Wx} = \mathbf{Vi} \quad (13)$$

Se despeja  $\mathbf{x}$  en (12) y sustituye en (13):

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}(\mathbf{F}\mathbf{i} - \mathbf{m}) \quad (14)$$

$$\mathbf{V}\mathbf{i} = \mathbf{W}\mathbf{x} = \mathbf{W}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}(\mathbf{F}\mathbf{i} - \mathbf{m}) \quad (15)$$

Este es el modelo I-O estándar, con (14) se calcula la producción y con (15) los inputs primarios requeridos para satisfacer una demanda final ( $\mathbf{F}$ ) dada. De forma análoga, reexpresamos ecuaciones (3) y (4) parte física del modelo I-O:

$$\mathbf{A}_s \mathbf{x}_s + \mathbf{F}_{sa} \mathbf{i} + \mathbf{F}_{sf} \mathbf{i} - \mathbf{m}_s = \mathbf{x}_s \quad (16)$$

$$\mathbf{A}_p \mathbf{x}_s + \mathbf{F}_{pa} \mathbf{i} + \mathbf{F}_{pf} \mathbf{i} - \mathbf{m}_p = \mathbf{x}_p \quad (17)$$

Se despeja  $\mathbf{x}_s$  y  $\mathbf{x}_p$ :

$$\mathbf{x}_s = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_s)^{-1}(\mathbf{F}_{sa} \mathbf{i} + \mathbf{F}_{sf} \mathbf{i} - \mathbf{m}_s) \quad (18)$$

$$\mathbf{x}_p = \mathbf{A}_p \mathbf{x}_s + [\mathbf{F}_{pa} \mathbf{i} + \mathbf{F}_{pf} \mathbf{i} - \mathbf{m}_p] \quad (19)$$

Este es el modelo I-O físico. El vínculo con los modelos I-O se hace mediante  $\mathbf{A}_{sa}$  y  $\mathbf{A}_{pa}$ . Sustituimos (18) en (19) y, en (19'), integramos las definiciones (8 y 9):

$$\mathbf{x}_p = \mathbf{A}_p [(\mathbf{I} - \mathbf{A}_s)^{-1}(\mathbf{F}_{sa} \mathbf{i} + \mathbf{F}_{sf} \mathbf{i} - \mathbf{m}_s)] + [\mathbf{F}_{pa} \mathbf{i} + \mathbf{F}_{pf} \mathbf{i} - \mathbf{m}_p] \quad (19')$$

El vínculo entre los modelos con base en una MIOT y en una PIOT se concreta mediante sustituyendo en (19') obtenemos (21):

$$\mathbf{x}_p = \mathbf{A}_p (\mathbf{I} - \mathbf{A}_s)^{-1} (\mathbf{A}_{sa} \mathbf{x} + \mathbf{F}_{sf} \mathbf{i} - \mathbf{m}_s) + \mathbf{A}_{pa} \mathbf{x} + \mathbf{F}_{pf} \mathbf{i} - \mathbf{m}_p \quad (20)$$

Ahora se sustituye (14) en (20) y se reagrupan términos:

$$\mathbf{x}_p = [\mathbf{A}_p (\mathbf{I} - \mathbf{A}_s)^{-1} \mathbf{A}_{sa} + \mathbf{A}_{pa}] \{(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} (\mathbf{F}\mathbf{i} - \mathbf{m})\} + [\mathbf{A}_p (\mathbf{I} - \mathbf{A}_s)^{-1} (\mathbf{F}_{sf} \mathbf{i} - \mathbf{m}_s) + (\mathbf{F}_{pf} \mathbf{i} - \mathbf{m}_p)] \quad (21)$$

Con ecuación (21) calculamos las cantidades requeridas de materiales primarios para satisfacer la demanda final por productos de las actividades consideradas.

El uso total de materiales primarios por categoría de demanda final está dada por:

$$\left[ \mathbf{A}_p (\mathbf{I} - \mathbf{A}_s)^{-1} \mathbf{A}_{sa} + \mathbf{A}_{pa} \right] \left\{ (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{F} \right\} + \left[ \mathbf{A}_p (\mathbf{I} - \mathbf{A}_s)^{-1} \right] (\mathbf{F}_{sf}) + (\mathbf{F}_{pf}) \quad (22)$$

Las interpretaciones económicas de los tres términos de la ecuación (22) son:  $\mathbf{F}_{pf}$  representa el uso directo de materiales primarios en categorías de demanda final; el término  $\mathbf{A}_p (\mathbf{I} - \mathbf{A}_s)^{-1} \mathbf{F}_{sf}$  aporta el uso de materiales primarios requeridos para producir materiales secundarios empleados directamente por las categorías de demanda final; y el último término,  $\left( \mathbf{A}_p (\mathbf{I} - \mathbf{A}_s)^{-1} \mathbf{A}_{sa} + \mathbf{A}_{pa} \right) (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{F}$ , con dos componentes. El correspondiente a  $\mathbf{A}_p (\mathbf{I} - \mathbf{A}_s)^{-1} \mathbf{A}_{sa} (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{F}$ , que estima el uso de materiales primarios requeridos para producir materiales secundarios requeridos directa e indirectamente para producir el total de la demanda final; y que está dado por  $\mathbf{A}_{pa} (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{F}$ , calcula el uso total de materiales primarios (directos e indirectos) requeridos para producir el total de la demanda final de bienes y servicios, ambos de bienes y servicios.

Sin embargo, dado que  $\mathbf{F}_{sf}$  y  $\mathbf{F}_{pf}$  no están formulados en términos de actividades, tales usos deberían primero ser asignados al nivel de actividades, pero esas agregaciones son difíciles de trabajar y, comenta Konijn *et al.* (1997), el uso total de materiales primarios requeridos para producir la demanda final de cada actividad se aproxima mediante:

$$\left( \mathbf{A}_p (\mathbf{I} - \mathbf{A}_s)^{-1} \mathbf{A}_{sa} + \mathbf{A}_{pa} \right) (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{F}_i \quad (23)$$

Recientemente surgió un debate, sobre modelación con PIOT, a raíz de un artículo que usa una PIOT para la CE y modela la apropiación del suelo (Hubacek and Giljum, 2003). El debate lo inicia S. Suh (2004a) y tiene que ver esencialmente con las reglas de reparto o distribución de inputs primarios y, sobre todo de los desechos, que hacen el modelo consistente (Giljum et al., 2004; Giljum y Hubacek, 2004; Suh, 2004b). A mi parecer, la solución la ofrece Dietzenbacher (2005) y el artículo de Weisz y Duchin (in press) abre la agenda hacia una nueva matriz de "precios" para los flujos físicos ambientales.

Como bien dice Dietzenbacher (2005), en relación con este debate: "...en general no es simple la conversión entre una MIOT y una PIOT, aún si estuviera disponible información completa sobre los precios; la conversión simple basada en un precio promedio del sector-*i* es

inadecuada. En consecuencia, la estructura productiva en términos físicos puede ser radicalmente diferente de la estructura en términos monetarios”.

*Elementos para la crítica o comentarios generales del análisis I-O extendido ambientalmente con flujos físicos*

*i)* En el contexto de los esquemas de presión-estado-respuesta (PSR)<sup>242</sup>, los indicadores derivados de los MFA identifican y cuantifican de manera burda las presiones ambientales, su importancia está en posibilitar el cálculo de estos vectores de intervención ambiental; pero no son buenos para establecer “asociación” (atribución) de las actividades socio-económicas como responsables de tales presiones. Y limitada su capacidad para ofrecer información directa sobre los impactos ambientales reales.

*ii)* En los MFA/SFA los flujos físicos no están ligados a los sectores de actividad pero sí a los flujos de producto. Los análisis I-O extendidos ambientalmente superan esta deficiencia. Cualquier emisión a los SA está ligada a un sector, como cada producto lo está al sector que lo produce. Cualquier extracción de los SA está también ligada a un sector, como todos los productos comprados (inputs).

*iii)* Esta primera etapa de desarrollo de los MFA cumplió con su objetivo y ha merecido fuertes críticas, sobre todo inconsistencia contable en estudios comparativos entre países. Nunca quedó bien resuelto los problemas con los flujos indirectos asociados a las actividades económicas, por eso la evolución derivó hacia MIOT-extendida ambientalmente y a PIOT.

*iv)* Los MFA en el estándar de Eurostat (2001) han sido superados rápidamente por los marcos analíticos de I-O extendidos ambientalmente, la razón es que a partir de las tablas I-O con flujos físicos pueden derivarse todos los indicadores desarrollados en el marco de los MFA. La acumulación de estudios comparativos de MFA a nivel de países y regiones y su evaluación fue contundente: los indicadores de MFA no son muy consistentes como los obtenidos desde tablas IO extendidas ambientalmente (Tukker *et al.* 2006).

*v)* El cambio realmente sustantivo está en la base empírica diferente, en el cambio del núcleo del análisis: ya no MIOT sino PIOT. Esto amplía las posibilidades de los instrumentos y una nueva generación de indicadores de sustentabilidad ‘fuerte’<sup>243</sup>.

---

<sup>242</sup> Versiones PSR en OECD (1994a) o los esquemas más extendidos “Driving Forces-Pressures-State-Impact-Response” (DPSIR) de la UE (EUROSTAT 1999).

<sup>243</sup> Ver las tres grandes áreas de aplicación en la sección siguiente.

Por último, son de destacar dos ventajas adicionales que encuentran Hoekstra y van den Bergh (2006) en su *survey* sobre PIOT. Primero, de manera similar que las MIOT, la PIOT ofrece un marco consistente para integrar diferentes fuentes de información ambiental y económica; la consistencia está dada en la instrumentación del balance de materiales. Y segundo, curioso pero mejora las estadísticas monetarias de las cuentas nacionales. Las cuentas físicas pueden validar o aún mejorar las existentes de una MIOT, ahí donde éstas son de baja calidad. Por ejemplo, el SCN de Holanda se usa la información sobre flujos de energía como base para sus datos monetarios en las tablas de oferta y uso Hoekstra y van den Bergh (2006).

### 3. “Nuevos” instrumentos para la gestión ambiental sustentable

Las tablas I-O extendidas ambientalmente hacia los flujos físicos y sus modelos asociados, han mostrado ser instrumentos muy útiles para fundamentar políticas económico-ambientales. Son además, tablas que se han integrado sin dificultad a modelos más amplios como los de equilibrio general computable. Dentro de esta familia de marcos analíticos es posible realizar una gran variedad de estudios desde la perspectiva de productos, sectores y regiones, cuando la sistematización de datos así lo permite.

Ahora puede ser más clara la brecha enorme entre un MFA/SFA o MIOT-híbrida y un análisis basado en una PIOT. Sin embargo, disponer de un núcleo PIOT representa un alto costo, altos requerimientos de información e instrumentación de largo plazo, aunque los beneficios son superiores: se abre significativamente el campo de nuevos instrumentos y una nueva generación de indicadores para el análisis del sistema físico de sustentación SE-SA; con información consistente porque se genera dentro de un marco contable.

Este bien puede ser un objetivo permanente (largo plazo) en México: avanzar en la dirección de extender hacia los flujos físicos el sistema de contabilidad nacional. Como existe más de una opción, es necesario definir una estrategia que empieza por la asimilación acelerada de la experiencia europea en la materia<sup>244</sup>. Y es recomendable una etapa de transición que pasa por la elaboración de una NAMEA-México, los beneficios están bien documentados en la literatura (Tokker et al. 2006).

El alcance y precisión de la familia de modelos teórico-empírico que se podrían construir depende crucialmente de la base empírica que se ambicione construir para las próximas décadas en México. Si se adoptara la “vía europea” estaríamos construyendo un horizonte de posibilidades que involucraría a tres grandes áreas de aplicación para la política ambiental sustentable a escala nacional y regional:

---

<sup>244</sup> No obstante ser la vanguardia, también debaten hacia adónde enfocar los esfuerzos institucionales para las dos próximas décadas, el proyecto más completo, una PIOT así lo requiere, aunque se recomienda una opción intermedia que es I-O/NAMEA (Tokker *et al.*, 2006). En cualquier caso se trata de obtener tablas I-O ambientalmente extendidas.

1) *Análisis de problemas ambientales*. Involucra el análisis de la naturaleza y causas de los problemas ambientales relacionados con el uso de recursos y las emisiones. Las más importantes modalidades de análisis son: LCEI (*life cycle environmental impacts*)<sup>245</sup> por grupo de consumidor, por categorías de gasto en consumo, por categoría de consumo, por grupos de productos, por productos específicos, por cadenas de procesos, por uso de recursos primarios. Básicamente el procedimiento de cálculo se reduce a identificar y cuantificar factores (causas) y sus consecuencias o impactos ambientales (efectos), mediante relaciones múltiplemente determinadas (Heijungs, 2001).

Para ilustrar, los estudios realizables pueden ser sobre: 1) la importancia relativa de los impactos en las etapas de extracción de recursos, producción, uso y gestión de los desechos; 2) impactos incorporados en la producción interna respecto de las importaciones; 3) identificación de sectores que contribuyen predominantemente a la determinación de los impactos de un grupo de consumidores, categoría de gasto o producto (o grupo).

2) *Análisis de efectos ex ante de las políticas*. Son análisis de previsión (ex ante) de los efectos de las medidas de política e involucra el empleo de tendencias y análisis de escenarios. Entre las variantes más importantes sobre las implicaciones o desempeño de un SE (nacional o regional) ante cambios en: i) estilos de vida, ii) patrones de gasto en consumo, iii) cambio tecnológico incremental o radical, iv) reducción de emisiones y v) efectos de precios relacionados con impuestos “verdes” e internalización de efectos externos.

3) *Monitoreo y análisis de efectos ex post de las políticas*. Involucra el análisis ex post de los impactos (o consecuencias) ambientales y la eficacia de las medidas de política. Incluye el análisis de tendencias mediante series de tiempo. Tales como:

i) Análisis para establecer relaciones entre impactos ambientales, por requerimientos materiales totales o emisiones, y la actividad o producción económica; para diferentes cortes transversales de un SE: para un sector o producto (o grupo) específicos, por categoría específica de gasto en consumo, etc.).

ii) en relación al punto anterior, monitoreo de coeficientes de eco-eficiencia (impactos por unidad de valor creado).

---

<sup>245</sup> El término ‘LCEI’ (*life cycle environmental impacts*) hace referencia a los impactos de todas las actividades económicas que son necesarias para que se realicen las actividades del grupo de consumo relacionado con categorías de gasto o con un producto, durante su ciclo de vida. Usualmente estos instrumentos tratan con flujos físicos tales como: flujos a un SE de inputs de recursos (primarios) abióticos y bióticos, outputs de desechos finales, uso de suelo y output de emisiones a los SA (ver Heijungs, 2001). Como puede verse se trata de generalizaciones de estudios tipo ‘LCA/SFA’ con extensiones hacia el agrupamiento de las intervenciones o presiones ambientales en ‘categorías de impacto’, de ahí la fusión del término ‘LCEI’.



iii) análisis de descomposición de los cambios observados; por ejemplo, importa saber si un desacoplamiento entre emisiones de CO<sub>2</sub> y crecimiento económico fue atribuible a cambios en patrones de consumo, a la estructura tecnológica o los factores de emisión asociados.

Detrás de cada uno de los tipos de análisis esbozados en las tres grandes áreas de aplicación están los instrumentos. En realidad, la mayoría de los instrumentos de análisis de flujos físicos son de reciente creación, pero se han adaptado rápidamente a los marcos de I-O. Es amplia la variedad de instrumentos disponibles y no hay uno que sea al menos bueno para abordar todos los problemas. Un esfuerzo muy importante lo hace R. Heijungs (2001) al construir un marco unificado del cual derivar clases de instrumentos de análisis, documenta y revisa alrededor de veinte tipos de instrumentos.

En la sección 4 se abordan algunos aspectos generales sobre las implicaciones para la construcción de sistemas de contabilidad extendidos ambientalmente hacia los flujos físicos. En el capítulo 3 se presenta el caso de aplicación de estos instrumentos: un análisis de descomposición estructural con flujos físicos<sup>246</sup>.

#### **4. Requerimientos para la construcción de sistemas de contabilidad económico-ambiental**

El consenso por extender hacia las cuentas físicas los sistemas contables valuados monetariamente, impulsó a las Naciones Unidas a presentar un primer borrador de Manual de Cuentas Económicas y Ambientales Integradas, el llamado *SEEA-1993*<sup>247</sup>. Naciones Unidas inicia este trabajo con cuentas satelitales, como extensiones de un marco convencional de SCN incorporando algunos factores ambientales y culmina con la integración más acabada en la actualidad de los flujos (bio)físicos en la versión-2003 del SEEA<sup>248</sup>.

Derivado de las primeras extensiones a los sistemas de contabilidad de un país surgen los análisis de los flujos materiales. En ellos un SE es considerado como una “caja negra” que transforma unos inputs en outputs, es hasta el análisis basado en una PIOT que se los MFA/SFA se vuelven consistentes, plenamente, y permite describir la “totalidad” de los flujos físicos entre los diferentes sectores y agentes dentro del SE. Así, una PIOT proporciona la

---

<sup>246</sup> En Hoekstra y van den Bergh (2002) se encuentran los fundamentos de la técnica y un *survey* sobre las aplicaciones a flujos físicos.

<sup>247</sup> Durante la Conference on Environment and Development (UNCED) en Río de Janeiro (United Nations, 1992); primer versión completa fue hasta 1993 (United Nations 1993).

<sup>248</sup> Este marco contable pretende alcanzar un: “... coherent, comprehensive accounting framework which allows the contribution of the environment to the economy and the impact of the economy on the environment to be measured objectively and consistently...” (United Nations 2003, p. 1-1).

información más abaricante sobre las interrelaciones SE-SA y se pueden derivar indicadores físicos muy importantes del balance de los intercambios espaciales.

En la misma dirección de construir sistemas de contabilidad física una NAMEA (experiencia holandesa) compite con un SEEA, aunque no es igual; aquella es una versión más breve y económica en costos, pero muy consistente. En la Unión Europea NAMEA ha sido tomado con el referente a transitar y sobre el cual se ha acumulado la mayor experiencia en la materia. En un estudio muy reciente para la Comunidad Europea se propone seguir la transición por la vía de completar NAMEA para todos los países comunitarios (Tukker, Huppés, Oers, Heijungs; 2006).

Aunque el horizonte de más largo plazo el proyecto para extender ambientalmente tablas I-O busca cubrir a satisfacción los requerimientos de análisis económico-ambiental, con información de base sobre uso de recursos primarios de al menos 20-30 emisiones de sustancias al agua, aire y suelo, que sean importantes para problemas ambientales tales como: calentamiento global, agotamiento capa de ozono, eutrofización y formación de oxidantes fotoquímicos, entre otros (Tukker, Huppés, Oers, Heijungs; 2006).

Usualmente las tres áreas de aplicación estratégica mencionadas en la sección 3 requieren de una buena resolución sectorial, recomiendan desagregación a más de 100 sectores. Como igualmente la demanda de datos será mayor si, por ejemplo, se busca endogeneizar en los modelos algunos parámetros externos, que incluyen la relación de gastos de consumo con los costos de trabajo, elasticidades de precios y dinamización del modelo con respecto a cambios en los acervos de capital y cambio técnico como una función del gasto en bienes de capital.

Sólo para extraer lecciones y dimensionar el tamaño del esfuerzo de mejora en las capacidades institucionales que se ha propuesto para México en esta dirección. Obviamente estos requerimientos deben balancear cargas de trabajo, costos e impedimentos institucionales.

## **5. Una recomendación para México**

En un horizonte previsible de agravamiento de los problemas ambientales e intensificación del conflicto, se hará más necesario fortalecer nuestras capacidades institucionales para modelar y auxiliar las decisiones de política ambiental en México. Se recomienda definir una estrategia de largo plazo en la dirección de mejorar nuestros instrumentos de análisis y derivación indicadores desde la perspectiva de un sistema físico de sustentación SE-SA.

Ante un escenario de intensificación de problemas y conflictos ambientales (interespaciales), se volverá inminente el empleo de marcos analíticos más completos, en tanto que describan mejor la interdependencia en un SE y sus SA, que involucren una noción de ciclo, que se identifica como el ciclo "completo" de evaluación ambiental de las actividades humanas, un proceso de

evaluación en cuatro etapas: Actividad humana→ Intervención ambiental→ Impactos ambientales→ Problema ambiental. Esto es posible solo con los modelos con base empírica en tablas I-O extendidas ambientalmente, en particular, con PIOT.

Por último, para hacer más patente y patético nuestro punto de partida como país, juzgue usted. Hoy en día existen disponibles MIOT para la mayoría de los países del mundo y, en particular, los países más desarrollados las actualizan con cierta periodicidad<sup>249</sup>. Algunos países europeos han publicado alrededor del año 2000 sus primeras PIOT. Mientras tanto, en México se han cumplido más dos décadas sin publicar una matriz insumo-producto convencional. La integración de cuentas ambientales al SCN se ha reducido, exclusivamente, a la generación de la serie del PIB ajustado ambientalmente, desde 1993: PINE1 y PINE2 (INEGI).

---

<sup>249</sup> Una encuesta internacional elaborada en 2001 por la Statistics *Bureau, Management and Coordination Agency* del Japón, documenta que 83 países en el mundo compilan tablas I-O oficiales, 40 de ellos han adoptado el modelo de oferta y usos (*Make-Use*) ---citado en Guo J., Lawson A. M., and Planting Mark A., 2003. "From Make-Use to Symmetric I-O Tables: An Assessment of Alternative Technology Assumptions". Paper to be presented at the 11th Inforum World Conference, Suzdal, Russia, September 8 – 12, 2003. (también en 14th International Conference on Input-Output Techniques, Montreal, Canada, October 2002).

## **ANEXO III Variantes metodológicas en el uso del SDA para estimar vectores de intervención ambiental por actividades antropogénicas**

### **CONTENIDO**

- 1. Introducción**
- 2. Procedimiento SDA por regiones y sectores económicos**
- 3. Identificación de sectores-clave ambientalmente**
- 4. Procedimiento de SDA a la J. Proops**

## 1. Introducción

Las variantes que se emplean de SDA permiten abordar para cada factor ambiental considerado, las escalas de nacional, regional y sectorial (*sectores-clave*). Con respecto a la utilizada en el capítulo 3, la técnica SDA promedio de formas polares, se instrumentan tres diferencias se: i) elimina la descomposición por composición del gasto en demanda final (patrón de consumo) y sólo se deja como tercer componente el efecto del cambio en la demanda final; ii) descompone con término residual o cruzado; y iii) introduce efectos parciales e implícitos ligados a la oferta mediante el uso de la matriz de distribución o inversa de Gosh<sup>250</sup> (sección 3).

Por su pertinencia metodológica se usa SDA para estimar presiones ambientales por uso o generación de desechos tales como: 1) consumo de agua (insumo), 2) aguas residuales, 3) desechos sólidos municipales y 4) desechos peligrosos. Son las variables ambientales que podemos manejar como representativas de los flujos físicos inducidos por la actividad humana de la RCM y la economía nacional. Para conveniencia expositiva se agrupan las variantes en tres enfoques de SDA<sup>251</sup>.

## 2. Procedimiento SDA por regiones y sectores económicos

Se busca identificar las fuentes de las diferencias en las intensidades de uso de los factores ambientales entre la RCM y la estructura económica nacional como promedio (referencia), mediante una modelo I-O de análisis de descomposición estructural.

Dadas una estructura económica, una composición de la demanda final y las intensidades de uso (o generación) directo de los factores ambientales se pretende determinar en qué medida los tres determinantes explican las diferencias en las intensidades de uso (o generación) agregadas y observadas para la región de interés (RCM) y el espacio económico de referencia. Este objetivo general se puede abordar formalmente de la siguiente manera.

---

<sup>250</sup> Si conociéramos los vectores de valores añadidos desagregados sectorial y espacialmente (por entidades federativas) podríamos estimar medidas para las presiones ambientales tanto desde la demanda como de la oferta; en este último caso, se cambia el vector  $\mathbf{s}$  por un vector de valores añadidos  $\mathbf{v}$ . Un tratamiento convencional apuntaría al cálculo de elasticidades emisión-demanda, como se muestra en sección 2, guardando simetría entre las emisiones directas e indirectas inducidas por la demanda. Mientras que un tratamiento menos empleado, que integra verticalmente desde el punto de vista de la oferta, usa coeficientes de distribución como se muestra en la sección 3 (Pulido, A. y Fontela, E., 1993; 81, 132-138, 142-144). Bajo esta forma, las elasticidades emisión-valor añadido guardarían aquella simetría, pero ahora expresada con respecto a las emisiones directa e indirectas generadas por el valor añadido.

<sup>251</sup> Se ofrece un paquete de referencias básicas revisadas para esta investigación: Hoekstra R. and Bergh J.C.J.M., 2002; Alcántara V. and Duarte R., 2004; Ang B. W., 1999; Alcántara V. and Padilla E., 2003; Zhang F.Q. and Ang B.W. 2001; Alcántara, V., and Roca, J., 1995; Pulido A. y Fontela E., 1993.

Sea  $\mathbf{e}$  un vector de consumo directo de agua (o generación directa de desechos). Podemos definir el siguiente vector ( $\boldsymbol{\varepsilon}$ ) donde cada elemento representa consumo (o generación) del factor en cada sector por unidad de valor del producto; es decir, se trata de un vector de intensidad directa de uso (o generación):

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{e}' \hat{\mathbf{x}}^{-1} \dots\dots\dots (1)$$

De la cual se obtiene:  $\mathbf{e} = \boldsymbol{\varepsilon} \hat{\mathbf{x}}$  , (2).

Ahora se busca una expresión para estimar los consumo de agua (o generación de desechos) totales del factor, directos e indirectos, que hace el sector- $i$  en la producción de los inputs necesarios por este sector para obtener una unidad de producto del sector- $j$ ; se trata de una matriz  $E$  con elemento genérico ( $E_{ij}$ ). La suma por columnas de  $E$  representa el consumo (o generación) total agregado, directo e indirecto, de los diferentes sectores con el fin de obtener sus demandas finales. Para ello sustituimos en (2) la expresión para  $\mathbf{x}$  de la solución del modelo de Leontief, para obtener:

$$\mathbf{E} = \boldsymbol{\varepsilon} (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \hat{\mathbf{y}} \dots\dots\dots (3)$$

La expresión anterior permite asociar tres factores explicativos a la intensidad de uso (o generación) total final: intensidad de uso directo de cada sector, la estructura productiva y el nivel de actividad.

Para realizar buenas comparaciones definamos indicadores de la intensidad de la producción final sectorial mediante las participaciones de las demandas finales sectoriales respecto de las producciones totales como:

$$\mathbf{s} = \hat{\mathbf{x}}^{-1} \mathbf{y} \dots\dots\dots (4)$$

De la ecuación (4) obtenemos  $\mathbf{y} = \hat{\mathbf{x}} \mathbf{s}$  , que sustituida en (3) resulta:

$$\mathbf{E} = \boldsymbol{\varepsilon} (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \hat{\mathbf{x}} \mathbf{s}; \dots\dots\dots (5)$$

Premultiplicando (5) por  $\hat{\mathbf{x}}^{-1}$  y sustituyendo (2):

$$\mathbf{F} = \hat{\mathbf{x}}^{-1}\mathbf{E} = \boldsymbol{\varepsilon}\hat{\mathbf{x}}^{-1}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\hat{\mathbf{x}}\boldsymbol{\xi} \dots\dots\dots (6)$$

Como sabemos ya que  $\hat{\mathbf{x}}^{-1}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{I} - \mathbf{D})^{-1} = \mathbf{B}$ , podemos entonces expresar (6) sintéticamente como:

$$\mathbf{F} = \boldsymbol{\varepsilon}\mathbf{B}\boldsymbol{\xi}; \dots\dots\dots (7)$$

La ecuación (7) deja clara la dependencia de la intensidad de consumo (o generación) en relación a la intensidad de uso directo de los factores ambientales, la estructura productiva (pero como estructura de distribución) y la estructura de la demanda.

Si a continuación realizamos una suma por columnas, premultiplicamos por un vector fila unitario, obtendremos el vector fila de intensidad de uso (o generación) total de los factores ambientales, directa e indirectamente, la ecuación básica para construir nuestra comparación entre espacios económicos regionales:

$$\mathbf{f}' = \boldsymbol{\varepsilon}'\mathbf{B}\boldsymbol{\xi}; \dots\dots\dots (8)$$

Dado que esta expresión puede obtenerse para una economía regional en particular, como también para una economía de referencia, para nuestra investigación la primera es la RCM (diferenciada con el subíndice 'c' de centro) y la segunda la economía nacional agregada o promedio (subíndice 'r' de referencia). De tal manera que podemos escribir:

$$\mathbf{f}'_c = \boldsymbol{\varepsilon}'_c\mathbf{B}_c\boldsymbol{\xi}_c; \dots\dots\dots (9)$$

$$\mathbf{f}'_r = \boldsymbol{\varepsilon}'_r\mathbf{B}_r\boldsymbol{\xi}_r; \dots\dots\dots (10)$$

Como nuestro objetivo es estudiar los factores que motivan las diferencias en términos de intensidad de uso total (o generación) entre estos dos espacios económicos, es decir, nos interesa explicar  $\Delta\mathbf{f}' = \mathbf{f}'_c - \mathbf{f}'_r$ . Como se mencionó al derivar la ecuación básica (8), el producto de los tres factores determinantes de la intensidad de uso total permitirá explicar tales diferencias.

Para tal fin, se realiza la diferenciación central de dicho producto, siguiendo la metodología propuesta por J. Proops (1988), cuya expresión resultante es la siguiente:

$$\Delta \mathbf{f}' = \Delta \boldsymbol{\varepsilon}' \mathbf{B}^m \hat{\mathbf{s}}^m + \boldsymbol{\varepsilon}'^m \Delta \mathbf{B} \hat{\mathbf{s}}^m + \boldsymbol{\varepsilon}'^m \mathbf{B}^m \Delta \hat{\mathbf{s}} + \frac{1}{4} \Delta \boldsymbol{\varepsilon}' \Delta \mathbf{B} \Delta \hat{\mathbf{s}}; \dots\dots\dots (11)$$

Que es nuestra ecuación relevante para la comparación (ver apéndice 3 en Proops, 1988); se emplean las siguientes definiciones complementarias para las diferencias:

$$\Delta \boldsymbol{\varepsilon}' = \boldsymbol{\varepsilon}'_c - \boldsymbol{\varepsilon}'_r, \quad \Delta \mathbf{B} = \mathbf{B}_c - \mathbf{B}_r, \text{ y } \Delta \hat{\mathbf{s}} = \hat{\mathbf{s}}_c - \hat{\mathbf{s}}_r \dots\dots\dots (12)$$

Con las variables promedio siguientes:

$$\boldsymbol{\varepsilon}'^m = \frac{1}{2}(\boldsymbol{\varepsilon}'_c + \boldsymbol{\varepsilon}'_r), \quad \mathbf{B}^m = \frac{1}{2}(\mathbf{B}_c + \mathbf{B}_r), \text{ y } \hat{\mathbf{s}}^m = \frac{1}{2}(\hat{\mathbf{s}}_c + \hat{\mathbf{s}}_r) \dots\dots\dots (13)$$

Una vez obtenida la ecuación fundamental (8) para estimar la intensidad agregada de uso de agua o generación de desechos,  $\mathbf{f}' = \boldsymbol{\varepsilon}' \mathbf{B} \hat{\mathbf{s}}$ , por observación directa de ésta podemos afirmar que la aplicación de la técnica SDA permite descomponer tal indicador de intensidad agregada de los factores ambientales considerados en tres componentes principales o efectos: i) el de intensidad de uso o generación directa, ii) el de la estructura de producción o más concretamente de la estructura de distribución y iii) el de la estructura de la demanda.

Realizada el álgebra para la ecuación en diferencias centrales de la economía de interés (RCM) y la de referencia (nacional) obtenemos:

$$\Delta \mathbf{f}' = \Delta \boldsymbol{\varepsilon}' \mathbf{B}^m \hat{\mathbf{s}}^m + \boldsymbol{\varepsilon}'^m \Delta \mathbf{B} \hat{\mathbf{s}}^m + \boldsymbol{\varepsilon}'^m \mathbf{B}^m \Delta \hat{\mathbf{s}} + \frac{1}{4} \Delta \boldsymbol{\varepsilon}' \Delta \mathbf{B} \Delta \hat{\mathbf{s}}; \dots\dots\dots (14)$$

Las diferencias se explican mediante los tres componentes o efectos principales, más un término residual de efecto combinado de los anteriores:

$$\Delta \mathbf{f}' = \mathbf{T}^1 + \mathbf{T}^2 + \mathbf{T}^3 + \mathbf{R} \dots\dots\dots (15)$$



El primer componente se denomina “efecto intensidad directa” y mide la parte de la diferencia debida a los distintos consumos de agua o generación de desechos sectoriales, suponiendo que las estructuras de producción y demanda de la región bajo estudio es la misma que la economía de referencia.

El segundo componente ofrece una medida del “efecto estructura” que explicaría la parte de la diferencia en la intensidad agregada debido a las distintas composiciones de producción, usos diferentes de los insumos en los procesos productivos, suponiendo ahora que la región tiene las mismas intensidad de uso (o generación) y estructura de demanda que la economía de referencia.

El tercer componente que se identificará como “efecto demanda”, estimará la diferencia en la intensidad agregada atribuible a la estructura de demanda diferente de cada sector. Por último, el término residual que combina los tres efectos pero su interpretación no es tan directa. Por ende, independientemente de su valor, para fines del análisis nos concentraremos en los tres componentes principales.

Como el procedimiento es aplicable para tantas regiones subnacionales como sea el interés de la investigación, postulamos que existen m-regiones en México para las cuales se aplica la técnica SDA, aunque en realidad trabajemos el ejercicio para la economía de la RCM y el agregado nacional como referencia. Así, obtendríamos una tabla como la siguiente para cada uno de los tres efectos principales ( $T^1$ ,  $T^2$  y  $T^3$ ; ver tabla V-1)<sup>252</sup>:

Tabla V-1.  $T(i, j, k)$ : Valores para el k-ésimo componente en el sector-i de la región-j de las intensidades de uso agua o generación de desechos.

Regiones-j (-->) / Sectores-i	Componente T1				Componente T2				Componente T3			
	1	2	... J ...	m	1	2	... J ...	m	1	2	... J ...	m
1												
2												
... i ...			$T(i, j; k=1)$				$T(i, j; k=2)$				$T(i, j; k=3)$	
n												

Con el fin de tener una visión más compacta de los resultados, se construyen algunos indicadores de comportamiento sectorial y por región. Sean los siguientes índices:  $i=1,2,\dots,n$  sectores;  $k(=1,2,3)$  para identificar alguno de los componentes o efectos principales; y  $j=1,2,\dots,m$  regiones. Si se definen también  $T_{ij}^k$  el valor del componente-k en el sector-i de la región-j, junto con  $T^{k,máx}$  y  $T^{k,mín}$  como los valores máximos y mínimos de la muestra, entonces podemos construir un indicador asociado a cada valor del componente y normalizado respecto del rango de la variable ( $T^{k,máx} - T^{k,mín}$ ), para que tome valores entre 0 y 1, de la siguiente manera:

<sup>252</sup> Aunque son innecesarios, con el fin de facilitar la lectura de los resultados definitivos expuestos en el capítulo 4 se mantienen tablas y gráficos que ilustran la presentación de datos.

$$I_{ij}^k = \frac{T_{ij}^k - T^{k,\text{mín}}}{T^{k,\text{máx}} - T^{k,\text{mín}}} \dots\dots\dots (16)$$

Valores del indicador cercanos a 1 se corresponden con altos valores del componente-k y por el contrario, valores próximos a 0 serán valores cercanos a los valores mínimos. Una medida de la importancia o impacto promedio del componente-k para cada región estará dado por el valor promedio del indicador:

$$I_j^k = \frac{1}{n} \sum_i I_{ij}^k \dots\dots\dots (17)$$

De igual manera el promedio sectorial:  $I_i^k = \frac{1}{m} \sum_j I_{ij}^k \dots\dots\dots (18)$

La comparación de esos indicadores con sus respectivos promedios permite establecer criterios de clasificación para el comportamiento tanto para sectores como para regiones:

Tabla V-2.  $I(i, j, k)$ : Índices de intensidades de uso o generación para cada uno de los componentes (T1, T2 y T3)

Regiones-j (-->) Sectores-i	Componente T1					Componente T2					Componente T3				
	1	2	... J ...	m	$I(i; k=1)$ Promedio por sector	1	2	... J ...	m	$I(i; k=2)$ Promedio por sector	1	2	... J ...	m	$I(i; k=3)$ Promedio por sector
1	$I(i, j; k=1)$				$I(i; k=1)$	$I(i, j; k=2)$				$I(i; k=2)$	$I(i, j; k=3)$				$I(i; k=3)$
2															
... i ...															
n															
$I(j; k)$ Promedio por región	$I(j; k=1)$				N/A	$I(j; k=2)$				N/A	$I(j; k=3)$				N/A

### Análisis por regiones

Así, de la clasificación o mapeo de los indicadores de las regiones obtendríamos:

	$I(C^1)_j > I(C^1)$	$I(C^1)_j < I(C^1)$
$I(C^2)_j > I(C^2)$	<p>I</p> <p>Regiones con alta intensidad de uso (o generación) y alto impacto de sus procesos productivos.</p>	<p>II</p> <p>Regiones con baja intensidad de uso (o generación) pero con alto impacto de sus procesos productivos.</p>
$I(C^2)_j < I(C^2)$	<p>III</p> <p>Regiones con alta intensidad de uso (o generación) y bajo impacto de sus procesos productivos.</p>	<p>IV</p> <p>Otras regiones.</p>

De manera similar, la comparación tabular  $I(C^3)_j - I(C^3)$  vs.  $I(C^2)_j - I(C^2)$  dentro de cada bloque permite diferenciar entre aquellas regiones con más altos porcentajes de demanda que el promedio nacional y aquellas donde la mayoría de la producción va a ser encontrada en los inputs intermedios. Observe que el primer cuadrante con un alto tercer componente sería de alguna manera regiones “clave” en consumo de agua (o generación de desechos) y también combinarían un alto consumo directo de agua, una fuerte estructura de ventas (consumo indirecto) y una alta importancia de la demanda final (significando que la demanda ejercería un eslabonamiento hacia atrás sobre la producción y, por tanto, sobre el consumo de agua).

### Análisis por sectores

En la misma forma, la clasificación o mapeo de los indicadores por sectores tendríamos: Los sectores del primer cuadrante tendrían una alta intensidad agregada de uso por unidad de producción por su más alta intensidad de uso directo, tienen capacidad para transferir este uso de agua (o generación de desechos) a otros sectores a través de las ventas de insumos y porque son impulsados por la demanda a producir y por lo tanto a consumir agua y generar desechos.

	$I(C^1)_i > I(C^1)$	$I(C^1)_i < I(C^1)$
$I(C^2)_i > I(C^2)$	<p>I</p> <p>Sectores con alta intensidad de uso (o generación) y alto impacto sobre la economía en su conjunto.</p>	<p>II</p> <p>Sectores con una baja intensidad de uso (o generación) pero un alto impacto sobre la economía en su conjunto.</p>
$I(C^2)_i < I(C^2)$	<p>III</p> <p>Sectores con una alta intensidad de uso (o generación) y un bajo efecto multiplicador.</p>	<p>IV</p> <p>Otros sectores.</p>

Los sectores del tercer cuadrante serían sectores intensivos en uso de factores ambientales, pero arrastran a la economía en un menor grado a consumir o generarlos en sus procesos productivos, en términos relativos. Si el impacto de la demanda es alto, su potencial de consumo directo será incrementado mediante este peso incrementado de la demanda en la producción. En cambio, si ese porcentaje es bajo, los sectores son intensivos en uso en sus procesos de producción pero con pocas relaciones con los otros sectores y poco impacto sobre el uso de factores ambientales de los otros sectores.

### 3. Identificación de sectores-clave ambientalmente<sup>253</sup>

Con el fin de precisar el tamaño de la responsabilidad ambiental se busca identificar los *sectores-clave* para cada factor: uso final de agua y generación de desechos. Con base en las elasticidades de las demandas para cada factor ambiental, se indican la mayor o menor relevancia de los diferentes sectores y, por ende, colocar mayor atención en aquellos sectores relevantes por sus implicaciones de política ambiental.

Sea  $E$  un escalar que denota el uso final total de agua (generación de desechos) del sistema productivo, y sea  $\varepsilon'$  un vector fila de consumo directo de agua (o generación directa de desechos) por unidad de producto sectorial. Podemos escribir:

---

<sup>253</sup> Para esta sección seguimos los trabajos de: Alcántara V. and Duarte R., 2004; Alcántara V. and Padilla E., 2003; Alcántara, V., and Roca, J., 1995; Pulido A. y Fontela E., 1993.

$$E = \boldsymbol{\varepsilon}'\mathbf{x} = \boldsymbol{\varepsilon}'(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y} \dots\dots\dots (19)$$

Se diferencia y postula un aumento en la demanda final proporcional a ella misma  $\Delta\mathbf{y}=\alpha\mathbf{y}$ , entonces:

$$\Delta E = \boldsymbol{\varepsilon}'\Delta\mathbf{x} = \boldsymbol{\varepsilon}'(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y}\alpha \dots\dots\dots (20)$$

Si definimos un vector de participaciones de las demandas finales sectoriales respecto de sus producciones totales como:

$$\mathbf{s} = \hat{\mathbf{x}}^{-1}\mathbf{y} \dots\dots\dots (21)$$

Los sustituimos en (20) y dividimos entre E:

$$E^{-1}\Delta E = E^{-1}\boldsymbol{\varepsilon}'(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\hat{\mathbf{x}}\mathbf{s}\alpha \dots\dots\dots (22)$$

Si además definimos un vector  $\mathbf{f}' = (f_1, f_2, \dots, f_i, \dots, f_n)$  de distribución de los usos de factores ambientales directos entre los n-sectores productivos tal que  $\sum_i f_i = 1$ , entonces el vector de coeficientes de uso o consumo sectorial final ( $\boldsymbol{\varepsilon}'$ ) puede expresarse como:

$$\boldsymbol{\varepsilon}' = E\mathbf{f}'\hat{\mathbf{x}}^{-1} \dots\dots\dots (23)$$

sustituyendo en (22):

$$E^{-1}\Delta E = \mathbf{f}'\hat{\mathbf{x}}^{-1}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\hat{\mathbf{x}}\mathbf{s}\alpha \dots\dots\dots (24)$$

Se emplea ahora las equivalencias entre los modelos de demanda y oferta de Leontief, sabemos que son:  $\hat{\mathbf{x}}^{-1}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{I} - \mathbf{D})^{-1}$ , donde  $\mathbf{B} = (\mathbf{I} - \mathbf{D})^{-1}$  es la inversa asociada con la matriz de distribución o inversa de Gosh.

Los elementos característicos ( $B_{ij}$ ) expresan, para cada sector- $i$ , las ventas de inputs realizadas directa e indirectamente a todos los sectores de la economía por unidad de valor agregado generado. Así,  $\mathbf{B}$  está ligado al modelo I-O de oferta y describe la distribución de insumos dentro del sistema, mientras que  $\mathbf{s}$  es un indicador de la distribución de las demandas. Entonces, si sustituimos  $\mathbf{B}$  en (24) y diagonalizamos el vector  $\mathbf{s}$ , obtendremos un vector fila,  $\mathbf{e}'$ :

$$\mathbf{e}' = \mathbf{f}'(\mathbf{I} - \mathbf{D})^{-1} \mathbf{s} \alpha \dots\dots\dots (25)$$

Representa las variaciones proporcionales del uso o generación sectorial de factores ambientales en relación a los cambios proporcionales en la demanda final. Con mayor precisión, si diagonalizamos  $\mathbf{f}'$ , y omitimos haciendo  $\alpha=1$  (incremento unitario), podemos escribir la matriz  $\mathbf{E}^y$ :

$$\mathbf{E}^y = \mathbf{f}' \mathbf{B} \mathbf{s} \dots\dots\dots (26)$$

El elemento genérico ( $E'_{ij}$ ) representa un aumento en el uso o generación de factores ambientales del sector- $i$  en respuesta a un cambio en un 1% en la demanda final del sector- $j$ , y que representa una elasticidad. Por lo tanto, la suma de los elementos de la columna del sector- $j$  expresa el porcentaje de variación el consumo (o generación) experimentado por la economía en su conjunto en respuesta a un cambio en 1% en la demanda final del sector- $j$  (*impacto total*). También la suma por filas de esta matriz reproduce la distribución del consumo (o generación) y es un indicador del impacto que tendría la economía global (*impacto distributivo*) ante un aumento en 1% en cada uno de los sectores.

Cabe observar que la suma por columnas tiene su correspondencia con los *encadenamientos hacia atrás* mientras que la suma por filas con los *encadenamientos hacia adelante*. Sin embargo, por la ecuación (24) tanto la estructura de distribución del producto, la estructura de la demanda, como también la estructura productiva influyen en este enfoque de determinación del impacto de la demanda por consumo de agua o generación de desechos. Como la tabla tipo V-3, se generarán cuatro tablas, una para cada factor ambiental considerado.

Tabla V-3. Impactos totales y sectoriales, una para cada factor ambiental					
	1	2	...	$n$	Totales
1					
2					...
...			$E'_{ij}$		$\sum_j E'_{ij}$
$n$					
Totales		...	$\sum_i E'_{ij}$		1.00

Con esta metodología determinamos vínculos entre el comportamiento económico y el consumo de agua y generación de desechos, lo que nos permite identificar responsabilidades sectoriales de este comportamiento, dentro de un espacio determinado; el procedimiento III permitirá establecer comparaciones entre la región de interés y una de referencia, el agregado nacional, y de manera similar identificaremos la responsabilidad conjunta del impacto del funcionamiento de la región.

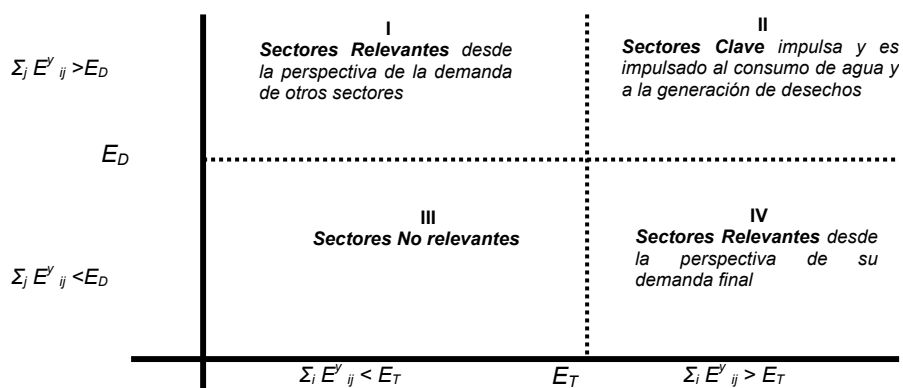
Con las siguientes tablas resumen (tipo V-4) para el cálculo de la expresión (26), se identifica directamente a la suma por columnas como el *impacto total* del aumento porcentual,  $a\%$ , en el uso o generación de factores ambientales experimentados por toda la economía ante un aumento en 1% en la demanda final del sector correspondiente.

Tabla V-4. Resumen: Impactos totales y sectoriales (o distributivos del consumo de agua y la generación de desechos, una por factor)		
	<i>Impacto total</i> ( $\sum_i E'_{ij}$ )	<i>Impacto distributivo o sectorial</i> ( $\sum_j E'_{ij}$ )
<i>Sector 1</i>	$a\%$	$b\%$
<i>Sector 2</i>		
...		
<i>Sector n</i>		

Mientras que si damos un aumento en 1% en la demanda final de todos los sectores, identificamos a la suma por filas como el *impacto distributivo o sectorial* en el consumo de agua o generación de desechos como un aumento en un  $b\%$  con respecto al aumento total ( $a\%$ ) anterior; es decir, un  $b\%$  del aumento total anterior ( $a$ ) será atribuible al sector correspondiente. Así, éste impacto distributivo coincide con la distribución de los consumos (o generaciones) directas sectoriales.

Con la estimación de estos indicadores de impacto podemos establecer una taxonomía sectorial que muestre con cuánto y en qué sentido un sector productivo es relevante al consumo de agua o generación de desechos. Para ello calculamos primero los valores de las medianas del los impactos total y distributivo,  $E_T$  y  $E_D$  respectivamente<sup>254</sup>, y después realizar la clasificación sectorial según los criterios explícitos en el mapa siguiente:

<sup>254</sup> Si una mediana permite partir una distribución en partes (áreas) iguales, con el empleo de  $E_T$  y  $E_D$  como las medianas de los impactos total y distributivo, al representarlas en un espacio bidimensional estamos partiendo a éste en áreas iguales también.



Entonces, en un espacio  $(E_T, E_D)$ , con indicadores medidos en unidades de elasticidad normalizada a uno, el espacio queda igualmente dividido en cuatro cuadrantes, mediante las medianas de  $E_T$ , y  $E_D$ .

*Cuadrante I (superior izquierdo).* Se ubican los sectores que, en términos relativos, se mantienen como inputs de otros procesos productivos. Su uso o generación de factores ambientales está determinado parcialmente por la demanda de otros sectores. Son importantes porque políticas que afecten el nivel de su producción pueden aumentar las restricciones (“cuellos de botella”) para el resto de las actividades productivas.

*Cuadrante II (superior derecho).* Se localizan los sectores cruciales en el uso de agua o generación de desechos, sus efectos total y distributivo están por arriba de los valores medianos de los sectores productivos. Por ende, estos sectores estimulan el uso o generación del factor ambiental de otros sectores productivos y, al mismo tiempo, son inducidos por otros sectores al consumo o generación, por eso tienen una alta participación en la generación de presiones ambientales.

*Cuadrante III (inferior izquierdo).* Los sectores localizados en esta área no tienen relevancia alguna para la concepción de políticas que vuelvan más eficiente la actividad, en el uso o generación de factores ambientales, debido a que tanto sus impactos totales y su participación en la distribución del consumo final son relativamente bajos.

*Cuadrante IV (inferior derecho).* Son sectores con una alta incorporación de factores ambientales, por uso o generación directa e indirecta, aunque su participación en la distribución del consumo final es relativamente baja. Son sectores influenciados predominantemente por el efecto de escala o demanda final.



#### 4. Procedimiento de SDA a la J. Proops

Este SDA parte del modelo originalmente desarrollado por J. Proops (1988) para el análisis de intensidades de consumo de energía, pero por su pertinencia, se extiende su aplicación al cálculo de vectores de intervención ambiental por uso y de generación de desechos. Se proponen dos indicadores de intensidad de uso (o generación) de factores ambientales: 1) imputa el uso productivo del factor a los productos totales sectoriales de la economía ( $x$ ), y 2) imputa a los productos destinados a la demanda final ( $y$ ). Sea:

$$(1) \quad \varepsilon' \mathbf{x} = E_t; \dots\dots\dots (27)$$

$$(2) \quad \varepsilon^* \mathbf{y} = E_t \dots\dots\dots (28)$$

Donde  $\varepsilon$  es el vector de agua directa (o generación directa de desechos) requerida para producir una unidad de valor de mercancías de cada uno de los sectores productivos; y el vector  $\varepsilon^*$  representa el agua (o gen. desechos) directa e indirectamente requeridos para producir una unidad de valor de mercancías de cada sector destinada a la demanda final.

La derivación de los dos indicadores de intensidad de uso de factores ambientales es directa. Para obtener  $\varepsilon$ , el uso total es asignado entre los sectores productivos, el sector- $i$  debe comprar agua (o cargar con el "costo" de los desechos)  $e_i$  para sus procesos productivos; así, considerando todos los  $n$  sectores productivos en la economía,  $E_t = \sum_i e_i$ . El sector- $i$  tiene un producto total con valor  $x_i$ , de tal manera que cada elemento del vector  $\varepsilon$  está definido por  $c_i = e_i / x_i$ . Así, sustituyendo  $\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{y}$  en (1) obtenemos:

$$\varepsilon' (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{y} = E_t \dots\dots\dots (29)$$

Comparando (29) con (28) resulta que  $\varepsilon^*$  es igual a:

$$\varepsilon^* = \varepsilon' (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \dots\dots\dots (30)$$

Con el fin de observar los valores y la variabilidad de los vectores  $\varepsilon$  y  $\varepsilon^*$ , se construyen las siguientes tablas:

Tabla V-5. RCM: Intensidades de uso directo de factores ambientales $\epsilon$ , (en tons/\$)*.				
	Sector 1	Sector 2	...	Sector n
$\epsilon_1$	--	--	--	--
$\epsilon_2$	--	--	--	--
$\epsilon_3$	--	--	--	--
$\epsilon_4$	--	--	--	--

\* $\epsilon_1$ : consumo de agua (insumo),  $\epsilon_2$ : aguas residuales,  $\epsilon_3$ : desechos sólidos municipales y  $\epsilon_4$ : desechos peligrosos.

Tabla V-6. RCM: Intensidades de uso directo e indirecto de factores ambientales $\epsilon^*$ , (en ton/\$)**.				
	Sector 1	Sector 2	...	Sector n
$\epsilon^*_1$	--	--	--	--
$\epsilon^*_2$	--	--	--	--
$\epsilon^*_3$	--	--	--	--
$\epsilon^*_4$	--	--	--	--

\*\* $\epsilon_1$ : consumo de agua (insumo),  $\epsilon_2$ : aguas residuales,  $\epsilon_3$ : desechos sólidos municipales y  $\epsilon_4$ : desechos peligrosos.

Un tercer indicador que puede eliminar la variabilidad, si la hubiera, pero que interesa porque está expresado en términos de unidades físicas sería el cociente  $\epsilon^e_i = \epsilon^*_i / \epsilon_i$ ; el monto físico de factores ambientales requerido para la producción los bienes del sector-i que demanda la economía en su conjunto por unidad física del mismo factor pero requerido para producir los bienes destinados a la demanda final. Por lo tanto, si se requiere de una unidad física para el uso directo del sector-i en la producción de la demanda final,  $(\epsilon^e_i - 1)$  será el uso indirecto para toda la economía. Una manera derivar este indicador,  $\epsilon^e$ , es mediante la ecuación de balances de materiales que se expone a continuación.

Si los usos de factores ambientales por cada sector son conocidos, y si las tecnologías empleadas dentro de cada sector, debidamente especificadas y comprendidas, entonces la descripción desagregada de tales usos dentro de la estructura económica puede expresarse en valores de los flujos físicos de consumo de agua (o desechos generados) como:

$$e_i = \sum_j e_{ij} + e_i^y; \quad \forall i = 1, \dots, n; \dots \dots \dots (31)$$

Sería la ecuación equivalente a la de equilibrio básica de Leontief para el producto físico medida en valores monetarios,  $\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{y}$ . Donde el factor ambiental total usado en la producción del sector-i,  $e_i$ , está descompuesto en la parte correspondiente al suministro de inputs a todos los  $n$  sectores ( $\sum e_{ij}$ ), y el uso del factor ambiental asociado a la del producto final,  $e_i^y$ . De manera similar, suponiendo proporcionalidad reexpresamos como:

$$e_i = \sum_j q_{ij} e_j + e_i^y; \quad \forall i = 1, \dots, n \dots\dots\dots (32)$$

Matricialmente:

$$\mathbf{e} = \mathbf{Q}\mathbf{e} + \mathbf{e}^y, \dots\dots\dots (33)$$

La solución para e es:

$$\mathbf{e} = (\mathbf{I} - \mathbf{Q})^{-1} \mathbf{e}^y \dots\dots\dots (34)$$

Esta ecuación está expresando que si la demanda final por bienes requiere para su producción el uso directo de factores ambientales por un monto  $e^y$ , entonces el consumo total directo e indirecto por los sectores productivos está dado por e.

Cabe señalar que la suma por columnas de la matriz  $(I-Q)^{-1}$  resulta en ciertos ‘multiplicadores-físicos’, análogos a los ‘multiplicadores-valor’ que se obtienen de la matriz  $(I-A)^{-1}$  del análisis I-O convencional; es decir:

$$(\boldsymbol{\varepsilon}^e)' = \mathbf{i}'(\mathbf{I} - \mathbf{Q})^{-1} \dots\dots\dots (35)$$

Lo anterior importa porque puede demostrarse que el vector  $\boldsymbol{\varepsilon}^e$  tiene una interpretación idéntica a la de los multiplicadores-físicos y está expresada por la relación<sup>255</sup>:

$$(\hat{\boldsymbol{\varepsilon}}^*) (\hat{\boldsymbol{\varepsilon}})^{-1} = (\mathbf{I} - \mathbf{Q})^{-1} \dots\dots\dots (36)$$

Si sustituimos (35) en la suma por columnas de la ecuación (34) es fácil obtener  $\mathbf{i}'\mathbf{e} = \mathbf{i}'(\mathbf{I} - \mathbf{Q})^{-1} \mathbf{e}^y = (\boldsymbol{\varepsilon}^e)' \mathbf{e}^y$ , y como sabemos que  $\mathbf{i}'\mathbf{e} = \sum_i e_i = E_t$ , entonces  $E_t = (\boldsymbol{\varepsilon}^e)' \mathbf{e}^y$ <sup>256</sup>. De este procedimiento extraemos la siguiente ecuación:

---

<sup>255</sup> Demostración está en apéndice 1 en Proops (1988).

$$E_t = \mathbf{i}'(\mathbf{I} - \mathbf{Q})^{-1} \mathbf{e}^y \dots\dots\dots (37)$$

Si regresamos a la ecuación  $E_t = \boldsymbol{\varepsilon}'(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{y}$ , ésta expresa el uso de agua (o generación de desechos) productivamente dependientes de tres factores. El vector de intensidad de uso (o generación),  $\boldsymbol{\varepsilon}'$ , el cual refleja la tecnología dentro de cada sector; el segundo factor,  $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ , que representa las interrelaciones de los sectores en la economía; y el tercero,  $\mathbf{y}$ , expresa la estructura y nivel de la demanda final por bienes de los diferentes sectores. Los tres factores pueden cambiar en el tiempo de manera independiente ocasionando un cambio global en  $E_y$ .

En consecuencia, para construir una perspectiva de planeación en el uso (o generación) de los factores ambientales considerados mediante la técnica de análisis de descomposición estructural, deberíamos conocer:

El estado inicial de la economía,  $E_{t0} = \boldsymbol{\varepsilon}'_0(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}_0 \mathbf{y}_0$ ; el estado final,  $E_{t1} = \boldsymbol{\varepsilon}'_1(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}_1 \mathbf{y}_1$ ; definir  $\Delta E_t = E_{t1} - E_{t0}$ ; De igual manera:

$$\Delta \boldsymbol{\varepsilon}' = \boldsymbol{\varepsilon}'_1 - \boldsymbol{\varepsilon}'_0 ; \Delta(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}_1 - (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}_0 ; \Delta \mathbf{y} = \mathbf{y}_1 - \mathbf{y}_0 \dots\dots\dots (38)$$

Entonces

$$\Delta E_t = E_{t1} - E_{t0} = (\boldsymbol{\varepsilon}'_0 + \Delta \boldsymbol{\varepsilon}')[(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}_0 + \Delta(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}] (\mathbf{y}_0 + \Delta \mathbf{y}) - \boldsymbol{\varepsilon}'_0(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}_0 \mathbf{y}_0 \dots\dots\dots (39)$$

Usando las diferencias centrales respectivas:  $\boldsymbol{\varepsilon}'^m = \frac{1}{2}(\boldsymbol{\varepsilon}'_1 + \boldsymbol{\varepsilon}'_0) = \boldsymbol{\varepsilon}'_0 + \frac{\Delta \boldsymbol{\varepsilon}'}{2}$  (40);  $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = \mathbf{C}$ ,  $\mathbf{C}^m = \frac{1}{2}(\mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_0)$ ; (41); y  $\mathbf{y}^m = \frac{1}{2}(\mathbf{y}_1 + \mathbf{y}_0)$  (42). Sustituyendo obtenemos la ecuación buscada:

$$\Delta E_t = \Delta \boldsymbol{\varepsilon}' \mathbf{C}^m \mathbf{y}^m + \boldsymbol{\varepsilon}'^m \Delta \mathbf{C} \mathbf{y}^m + \boldsymbol{\varepsilon}'^m \mathbf{C}^m \Delta \mathbf{y} + \frac{1}{4} \Delta \boldsymbol{\varepsilon}' \Delta \mathbf{C} \Delta \mathbf{y} \dots\dots\dots (43)$$

---

<sup>256</sup> Ver apéndice 2 en Proops (1988).

Con el mismo procedimiento podemos obtener la otra ecuación de planeación:

$$\Delta E_t = \mathbf{i}'\Lambda(\mathbf{I} - \mathbf{Q})^{-1} \mathbf{e}^{ym} + \mathbf{i}'(\mathbf{I} - \mathbf{Q})^{-1} \Delta \mathbf{e}^y \dots\dots\dots (44)$$

Dado que  $\mathbf{e}^y$  es el vector de uso directo de los factores ambientales por cada sector requeridos para producir los bienes destinados a la demanda final, y considerando que el vector de demanda final  $\mathbf{y}$  puede proyectarse directamente para propósitos de planeación, puede conocerse el vector proyectado mediante las relaciones siguientes ya definidas:

$$E_t = \boldsymbol{\varepsilon}'\mathbf{x} = \boldsymbol{\varepsilon}^* \mathbf{y} = (\boldsymbol{\varepsilon}^e)' \mathbf{e}^y \dots\dots\dots (45)$$

Si no se conoce un nuevo  $\boldsymbol{\varepsilon}$  se mantiene fijo. Para la implementación de todos los procedimientos analíticos de esta investigación es fundamental la revisión del Cuadro de Apoyo siguiente.

**Cuadro de Apoyo. Regla de ajuste por escalamiento a los flujos físicos: Una nota metodológica para las secciones 2 y 3.**

La hipótesis es que la producción de bienes y servicios destinados a la demanda final está directamente relacionada con los usos finales de los factores ambientales. Haciendo la suma sobre todos los sectores- $i$  desde la ec (6) tenemos que el flujo físico (FF) total, para cada factor ambiental, es la suma de los flujos totales por demanda intermedia y final, esto es  $FF_{DT} = FF_{Di} + FF_{Df}$  equivalente a:

$$\sum_i e_i = \sum_i \sum_j q_{ij} e_j + \sum_i e_i^y;$$

Para nuestra investigación disponemos de información sobre los totales  $FF_{Di}$  y  $FF_{Df}$  lo cual nos permite conocer  $FF_{DT}$  (observado o medido).

Uno de los objetivos del procedimiento anterior es que podemos realizar una *estimación* para el vector  $\mathbf{e}^y$  a partir de la información desagregada para  $FF_{Di}$ . Sin embargo, dicha estimación presenta un sesgo debido a problemas de escala por no disponer de las mediciones desagregadas sectorialmente del vector  $\mathbf{e}^y$ , pero disponemos solo del flujo físico total asociado el cual podemos utilizar para realizar un *ajuste de escala* respectivo, lo que implica que se preserva la estructura tecnológica que lo genera.

Dicho esto, definimos un coeficiente de ajuste de escala  $k^e$  de la siguiente manera:  $k^e = FF_{DT}(O) / FF_{DT}(E)$ . La 'O' denota una observación real y la 'E' una estimación. Finalmente procedemos a multiplicar el lado derecho de la ec. (6),  $e_i = \sum_j q_{ij} e_j + e_i^y$ , para obtener el vector  $\mathbf{e}^y$  ajustado por los efectos de escala, no registrados, y alcanzar con ello el balance contable de los flujos físicos que genera la estructura productiva del análisis.

Cabe señalar que esta nota metodológica permitirá incorporar la parte alícuota debida a usos de factor ambientales (flujos físicos) por demanda final en los otros procedimientos centrales de esta investigación.

**Una extensión al procedimiento**

Las estimaciones de descomposición estructural al nivel de industrias o sectores. Para ello se hace el siguiente cambio. El vector de intensidad de uso (o generación),  $\boldsymbol{\varepsilon}'$ , empleado para realizar los cálculos de ecuación 43,  $\Delta E_t = \Delta \boldsymbol{\varepsilon}' \mathbf{C}^m \mathbf{y}^m + \boldsymbol{\varepsilon}'^m \Delta \mathbf{C} \mathbf{y}^m + \boldsymbol{\varepsilon}'^m \mathbf{C}^m \Delta \mathbf{y} + \frac{1}{4} \Delta \boldsymbol{\varepsilon}' \Delta \mathbf{C} \Delta \mathbf{y}$ , ahora se diagonaliza ( $\boldsymbol{\varepsilon}$ ) y se emplea en la ecuación anterior; se obtiene entonces para cada factor ambiental k una matriz asociada ( $\boldsymbol{\varepsilon}$ ).

Sólo para recordar de dónde viene la ecuación 43, su origen es la ecuación básica:

$$\boldsymbol{\varepsilon}'(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{y} = E_t, \text{ con } (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = \mathbf{C} \dots \dots \dots (46)$$

Con el cambio propuesto la nueva dimensión de la ecuación 3 es (17x1),  $E_t$  ya no es un número real, es el vector de uso total atribuible a cada industria o sector que se busca estimar. Así, para cada factor ambiental k ( $k= 1$  (agua-insumo), 2 (aguas residuales), 3 (desechos sólidos), 4 (desechos peligrosos)), habrá un vector como el siguiente:

$$\mathbf{e}'_t = \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{y} = \boldsymbol{\varepsilon} \mathbf{C} \mathbf{y}; \dots \dots \dots (47)$$

donde  $E_t = \sum_j (\mathbf{e}_t)_j$ ; y  $\mathbf{e}_t = ((\mathbf{e}_t)_1, (\mathbf{e}_t)_2, \dots, (\mathbf{e}_t)_j, \dots, (\mathbf{e}_t)_n)$ , j es el índice para identificar los n-sectores o industrias.

Por tanto, con la matriz que proviene de la diagonalización ( $\boldsymbol{\varepsilon}$ ) del vector de intensidad de uso, se alteran las diferencias y las medias de la siguiente manera. Ahora es:  $\Delta \boldsymbol{\varepsilon}' = \boldsymbol{\varepsilon}'_1 - \boldsymbol{\varepsilon}'_0$ ; antes era:  $\Delta \boldsymbol{\varepsilon}' = \boldsymbol{\varepsilon}'_1 - \boldsymbol{\varepsilon}'_0$ . También  $\boldsymbol{\varepsilon}'^m = \frac{1}{2}(\boldsymbol{\varepsilon}'_1 + \boldsymbol{\varepsilon}'_0) = \boldsymbol{\varepsilon}'_0 + \frac{\Delta \boldsymbol{\varepsilon}}{2}$ ; antes era:  $\boldsymbol{\varepsilon}'^m = \frac{1}{2}(\boldsymbol{\varepsilon}'_1 + \boldsymbol{\varepsilon}'_0) = \boldsymbol{\varepsilon}'_0 + \frac{\Delta \boldsymbol{\varepsilon}}{2}$ . Entonces, en la ecuación 43 sólo se sustituyen las nuevas diferencias y medias para obtener una tabla como la siguiente; una para el agregado nacional y otra para la RCM.

Nacional	$\Delta e_t$	$\Delta e^m C^m y^m$	$\varepsilon^m \Delta C y^m$	$\varepsilon^m C^m \Delta y$	$\frac{1}{4} \Delta e^m \Delta C \Delta y$
k=1 (agua insumo)					
GD 01					
....					
GD 09					
k=2 (agua residual)					
GD 01					
....					
GD 09					
k=3 (desecho sólido)					
GD 01					
....					
GD 09					
k=4 (desechos peligrosos)					
GD 01					
....					
GD 09					

## **ANEXO IV Fuentes y procesamiento de la información: Matrices I-O y vectores ambientales para la RCM y el agregado nacional**

### **CONTENIDO**

- 1. Aspectos sobre la información disponible: datos empíricos y su procesamiento**
  - 1.1 La información económica**
  - 1.2 La información ambiental**
  
- 2. Factor ambiental suelo**
  - 2.1 Introducción**
  - 2.2 Procedimiento para construir el vector de ocupación del suelo nacional**
  - 2.3 Procedimiento para construir el vector de ocupación del suelo regional**
  
- 3. Factor ambiental agua (como insumo)**
  - 3.1 Introducción**
  - 3.2 Procedimiento para desagregar usos intermedios y finales**
  
- 4. Factores ambientales para los servicios de asimilación y disposición temporal/definitiva de desechos**
  - 4.1 Aguas residuales**
  - 4.2 Desechos sólidos municipales**
  - 4.3 Desechos peligrosos**
  - 4.4 Desechos gaseosos**

**APÉNDICE ESTADÍSTICO (en CD de soporte)**



## 1. Aspectos sobre la información disponible: datos empíricos y su procesamiento

La “reconstrucción”<sup>257</sup> de los datos necesarios para aplicar el modelo insumo-producto-ambiental de esta investigación y poder cuantificar los impactos sobre los sistemas ambientales, involucra varias fuentes de información oficial (más otras disponibles) y diferentes supuestos simplificadores. A continuación se exponen los detalles de la colección de datos y los procedimientos que se han construido para su procesamiento.

### 1.1 La información económica

Son escasos los estudios recientes sobre análisis de insumo-producto y de construcción de matrices de contabilidad social para diferentes objetivos sobre la realidad económico-estructural de México, pues prácticamente desde 1980 el INEGI no ha publicado nuevas matrices Insumo-Producto (MIP); los pocos existentes han utilizado la única fuente disponible que es una MIP-Nacional actualizada para 1996 por A. Ten Kate y CIESA (2000). Por esta razón, nuestra investigación también utiliza esta MIP como base, aunque se hace la observación inicial de que la matriz no está debidamente ajustada, por lo que se tuvo que realizar el ejercicio de actualización (RAS) a 1996 con el fin de conseguir un ajuste real con sus vectores marginales (véase el Anexo Estadístico respectivo para consultar las MIP utilizadas).

Para “regionalizar” la MIP-Nacional de base y tener un recurso útil en la comparación, se emplean dos técnicas disponibles en la literatura: 1) coeficientes de localización, los cuales se estiman mediante los datos disponibles sobre los productos sectoriales de los agregados nacional y regional, aunque también pueden emplearse los valores agregados o los niveles de empleo ambos con la misma desagregación; y 2) coeficientes cruzados con ajuste por efectos de escala o técnica de Flegg. Las dos son técnicas sencillas y ampliamente utilizadas para contextos de economías con información restringida.

La información económica empleada para ligar el bloque de vectores ambientales es consistente con la estadística del sistema de cuentas nacionales que publica INEGI. Se han realizado algunos ajustes a esta información para hacerla compatible con el nivel de desagregación de la fuente de información ambiental disponible; por ejemplo, se agrega la MIP de base con 76 sectores a una de 19 sectores. Se considera que poco agrega o es innecesario para los objetivos y programa de esta investigación el trabajar con un alto nivel de desagregación, sobre todo por las grandes limitaciones de la información ambiental disponible.

---

<sup>257</sup> Las bases de datos Nacional y RCM para los años 1985 y 1996 se identifican con los nombres siguientes: “04 dB 1985” y “04 dB 1996”, respectivamente. Los algoritmos de los procedimientos metodológicos expuestos en el capítulo 3 y Anexo V, están programados en hojas de cálculo (tipo Excel) cuyo nombre es “PROCED SECC-X.X.X”.

Este esquema básico se corresponde con el modelo de *unidades híbridas*<sup>258</sup> que se busca instrumentar. Son abundantes los trabajos en esta dirección, pues prácticamente desde la propuesta inicial de Hendereen (1976) a la actualidad se siguen utilizando los modelos híbridos en análisis de impacto del uso de energía sobre el cambio climático, sobre la dinámica de los cambios de uso del suelo, sobre planeación de recursos hídricos, impactos por la generación de desechos, análisis sobre ciclo de vida de productos que representan riesgos o daños al ambiente o a la salud humana, y otros tipos de estudios que permiten la flexibilidad del marco de I-O.

El vínculo entre ambos bloques, que permite conformar un sistema integrado y viable entre un sistema económico y sus sistemas ambientales, se realiza mediante los factores de intensidad de uso o generación, que son también coeficientes de requerimientos; con ello se posibilita establecer la liga entre las ecuaciones de balances de los flujos en valor económico con los balances de los flujos de materiales o físicos.

## **1.2 La información ambiental**<sup>259</sup>

Aunque el relativamente reciente sistema de información ambiental en México dispone de un cúmulo de bases de datos, todavía presenta grandes deficiencias; una crucial es la pobre desagregación sectorial y regional, y la inexistencia de series de tiempo completas para la gran mayoría de las variables ambientales de nuestro estudio. No es sino a partir de la segunda mitad de los años noventa que la necesidad de intensificar el monitoreo y la vigilancia ha permitido enriquecer los bancos de información hoy disponibles.

La información para estructurar el bloque de variables ambientales que se integra a la MIP se obtiene de varias fuentes sistematizadas por la Semarnat-INE-INEGI. Por ejemplo, los datos sobre suelo son extraídos de un estudio de homologación cartográfica (1976-1993-2000) y cambios de uso del suelo realizado por el Instituto de Geografía-UNAM.

Cuando se presenta el problema de información limitada o inexistente, estudios publicados en las revistas especializadas en la materia suelen recurrir a otras fuentes confiables o “validadas” porque son aceptadas por los expertos, a pesar de ser información sobre otras economías con cierto grado de similitud, o bien en los casos extremos, donde se emplean técnicas recomendadas de estimación de parámetros diversos.

---

<sup>258</sup> Se denominan modelos híbridos porque el bloque I-O convencional se mide en unidades monetarias o de valor, y los flujos del bloque ambiental se cuantifican en unidades físicas --m<sup>3</sup>, ton o has. Similar a lo propuesto por Miller y Blair (1985) en su capítulo 6 y parte del capítulo 7; las adecuaciones para nuestro caso de estudio se harán explícitas en su momento.

<sup>259</sup> Aclaración: Todas las tablas y figuras deben empezar su numeración con 'IV'.

En las secciones siguientes se construirá un procedimiento para cada factor ambiental, el cual está determinado decisivamente por el tipo de información disponible para México y la región de interés. Aunque hay recursos comunes a todos, como los coeficientes de intensidad de uso o generación, o cuando se considera pertinente se emplearan los coeficientes de localización.

En síntesis, se considera que el sistema de información ambiental en México es aún muy deficiente, lo que hace difícil elaborar estudios económico-ambientales con cierto nivel aceptable de detalle y precisión. En este sentido, se adelantan las siguientes observaciones generales:

1) Inexistencia de balances de materiales vinculados al sistema de contabilidad económica nacional y regional, por cierto esta última muy deficiente también.

2) La información existente es parcial, muy agregada y las series históricas incompletas, cuando las necesidades de planeación de los recursos y servicios ambientales requieren de la desagregación confiable a escala estatal y municipal y, de manera muy importante, por sectores de actividad económica compatibles con el sistema de cuentas nacionales (SCN). Se vuelve muy difícil la ubicación espacial de los impactos que genera la actividad humana en general.

3) Una gestión muy deficiente de los ciclos de uso de los recursos naturales y los registros contables respectivos, lo que imposibilita tener un buen conocimiento para la planeación de la infraestructura futura y la posible creación de mercados especializados.

En conjunto, estas insuficiencias institucionales limitan la capacidad para diseñar e instrumentar un *sistema de información ambiental regional*, compatible con el SCN y otros instrumentos nodales para la planificación ambiental tales como los planes de ordenamiento ecológico del territorio, que abra la posibilidad para conformar el núcleo de un modelo de gestión ambiental de corte sistémico y respuesta oportuna en el tiempo (tipo *adaptativo*).

## **2. Factor ambiental suelo**

### **2.1 Introducción**

La única fuente confiable, actualizada y disponible para nuestra investigación fue recuperada del estudio ya citado sobre los cambios en los usos del suelo (Semarnat, INE e IG-UNAM, 2001); la información de este estudio que se utilizará se resume en las tablas 2.1-1 a 2.1-3. Inicialmente, una preocupación de corte descriptivo buscaría ofrecer una respuesta a la

pregunta ¿con qué formaciones naturales contamos y qué dinámica de las actividades humanas han ocupado el espacio de la RCM?

Para el año 2000, la panorámica regional sobre los usos del suelo en cuanto a las formaciones naturales con los menores niveles de intervención humana, los bosques y selvas de diferentes tipos, ocupaban 30% del espacio total de la RCM, 20.4% y 9.6%, respectivamente<sup>260</sup>. Le siguen en importancia los matorrales con 6.28%, otros tipos de cubierta vegetal en 0.82%, los pastizales naturales con un monto relativo de 0.17% y, finalmente, aunque con una fuerte inducción humana están los pastizales inducidos y cultivados con 11.74%. Estas formaciones en conjunto acumularon una ocupación de 49% del espacio total regional.

Respecto al espacio relacionado con la ocupación intensa de las actividades humanas, las más directas que se pueden identificar son las del sector primario. Particularmente la agricultura, su espacio estimado por cartografía es directo, aunque no para las actividades pecuarias y silvícolas, pues éstas se localizan en una buena porción de la mitad del espacio regional. Las actividades ganaderas están presentes en las áreas ocupadas por todos los tipos de pastizales, incluso invaden las áreas con actividades forestales dentro de las formaciones asociadas a los bosques y selvas. Aunque muy marginales para la RCM, las actividades relacionadas con la caza y la pesca están también ubicadas dentro de esta mitad del espacio regional.

En resumen, el suelo ocupado por las diferentes actividades agrícolas, identificados como “cultivos”, representó un total de 48.4%, distribuido en 39.5% para la agricultura de temporal, 8.8% agricultura de riego y humedad y 0.05% para las plantaciones forestales.

La gran suma total de formaciones naturales y actividades del sector primario de la RCM hasta aquí descritas representaron 97% del espacio de interés. Aproximadamente 3% del espacio restante queda para las concentraciones urbanas donde se localizan los asentamientos humanos y las actividades de los sectores secundario y terciario (servicios) de manera dominante. Es clara la evidencia, aunque medida con poca precisión en términos de áreas ocupadas, de que están altamente concentradas en el espacio que definiremos, posteriormente, como las *formaciones antrópicas*, haciendo referencia con ello a las áreas fuertemente intervenidas por el hombre y que involucra también a los asentamientos humanos.

En consecuencia, se trata de una región densamente ocupada por la actividad humana; en este pequeño espacio equivalente a 4.5% del territorio nacional en el año 2000 se generó 40.3% del PIB nacional. Esta es una primera impresión sobre la distribución del espacio ocupado por las formaciones económico-sociales de la región<sup>261</sup>.

---

<sup>260</sup> En un primer momento vamos a ejemplificar con la información de cambio de uso del suelo para el año 2000 y, posteriormente, cuando se estime el vector fila para los usos del suelo asociadas a las actividades económicas, ajustaremos por interpolación la cifras para el año 1996, dado que los datos disponibles están para los años 1976, 1993 y 2000.

<sup>261</sup> En la tabla 2.1-4 se presenta el comparativo para las contribuciones relativas de las formaciones naturales y el uso del suelo para las actividades económicas del conjunto del territorio nacional. Brevemente, el 32.8% corresponde

Debido a que la metodología que se va a utilizar requiere la construcción de las matrices I-O económico-ambientales para el caso nacional y para la región de interés, la exposición sobre su construcción se hará en ese orden, simplemente por disponibilidad de información. Aunque insuficiente para ambos casos, es mayor la disponibilidad de datos para el agregado nacional, lo cual permitirá detallar mejor cómo ajustamos nuestras estimaciones para el ámbito regional.

## **2.2 Procedimiento para construir el vector de ocupación del suelo nacional**

### **2.2.1 Sector primario: Agricultura, ganadería (caza y pesca) y silvicultura**

Como se ha expuesto, las actividades del sector primario están presentes en grandes áreas localizadas en las formaciones naturales que ocupan casi la totalidad del territorio nacional (99.4%). Para conocer con más detalle las áreas de las formaciones ocupadas por estas actividades primarias partimos de la información sobre cambios de uso del suelo por tipo de formación para los años de 1976, 1993 y 2000 (Tablas 2.1-1 a 2.1-3).

PASOS:

1) Con el nivel de desagregación espacial (nacional y regional) y por tipo formación natural de la información anterior, realizamos las interpolaciones lineales para los años de 1996 y 1985 (Tabla 2.1-5)<sup>262</sup>. Obtenemos directamente una primera aproximación del suelo ocupado por actividades agrícolas.

2) Dado el carácter dominante de la ganadería extensiva, la identificación de las áreas ocupadas por la actividad es más complicada. Como no es posible separar directamente las ocupaciones de suelo por las actividades ganaderas, recurrimos a la información que aporta el modelo pecuario-deforestación de la tabla 2.2.1-1 para hacerlo.

Es interesante observar en la tabla la desagregación para la actividad ganadera porque muestra como el suelo ocupado no está restringido a las áreas de pastizales (naturales o inducidos), propias para esta actividad, sino que evidencia su naturaleza “invasiva”.

---

a bosques y selvas, 33.2% otros tipos de cubierta vegetal (matorrales, hidrófilas, sin vegetación aparente), 16.4% todos los tipos de pastizales y 17% suelo ocupado por actividades agrícolas, que acumulan un total de 99.4% del suelo nacional; el 0.6% queda para los asentamientos humanos.

<sup>262</sup> La interpolación considera constante el coeficiente de velocidad de cambio para cada tipo de formación dentro de cada periodo.

Pero también se exhibe que el potencial del macizo forestal no es del todo homogéneo en calidad al mostrar fracciones de bosques y selvas secundarias como formaciones con algún tipo de degradación (menor densidad forestal) producidas por la deforestación, son espacios en transición que terminan evolucionando hacia otras actividades como la ganadera y la agrícola.

Año 1993	Año 2000							
	Bosque primario	Bosque secundario	Selva primaria	Selva secundaria	Otras coberturas vegetales	Pastizal (ganadería intensiva)	Cobertura Antrópica	Total
Bosque primario	198,640.0	51,564.0		250,204.0	9.0	13,658.0	4,601.0	268,499.0
Bosque secundario	5,960.0	70,700.0		39.0	7.0	5,063.0	2,701.0	84,470.0
Selva primaria			148,065.0	35,765.0	39.0	11,947.0	5,582.0	201,398.0
Selva secundaria			15,818.0	103,421.0	6.0	18,134.0	17,451.0	154,831.0
Otras coberturas de vegetación					635,470.0	16,833.0	13,209.0	665,513.0
Pastizal (ganadería intensiva)	72.0	54.0	511.0	2,019.0	3,848.0	245,700.0	15,353.0	267,558.0
Cobertura Antrópica	753.0	728.0	352.0	1,986.0	3,795.0	6,589.0	281,856.0	296,059.0
<b>Total</b>	<b>205,425.0</b>	<b>123,046.0</b>	<b>164,746.0</b>	<b>143,255.0</b>	<b>643,176.0</b>	<b>317,925.0</b>	<b>340,753.0</b>	<b>1,938,326.0</b>

Fuente: Estudio sobre cambio de usos del suelo (INE-Ig UNAM, 2001).

3) Como la desagregación de la tabla 2.2.1-1<sup>263</sup> no es necesaria por el momento, se agregan los bosques y selvas secundarias a las categorías genéricas de bosques y selvas (Tabla 2.2.1-2). Posteriormente se interpolan los valores para el año de 1996 (Tabla 2.2.1-3), usando la fila (1993) y la columna (2000) de la categoría "Pastizal ganadería intensiva".

Uso del suelo por formación (en Km2)	Año 2000					
	B	S	OC	PG	CA	TOTAL
Bosque (B)	326,864.0	64.0	16.0	18,721.0	7,302.0	352,967.0
Selva (S)	0.0	303,069.0	45.0	30,081.0	23,033.0	356,228.0
Otras coberturas vegetación (OC)	0.0	0.0	635,470.0	16,833.0	13,209.0	665,512.0
Pastizal (ganadería intensiva, PG)	126.0	2,530.0	3,848.0	245,700.0	15,353.0	267,557.0
Cobertura Antrópica (CA)	1,481.0	2,338.0	3,795.0	6,589.0	281,856.0	296,059.0
<b>TOTAL</b>	<b>328,471.0</b>	<b>308,001.0</b>	<b>643,174.0</b>	<b>317,924.0</b>	<b>340,753.0</b>	<b>1,938,323.0</b>

Fuente: Elaboración propia.  
\*/ Agregación de bosques y selvas secundarias en las categorías genéricas.

<sup>263</sup> Se trata de una *matriz de cambio* de usos del suelo entre los años de 1993 (filas) y 2000 (columnas).

4) Debido a que no disponemos de una matriz de cambio como la tabla 2.2.1-1 para el periodo 1976-1993, la interpolación de valores para el año de 1985 se realiza a partir del vector estimado de ocupación del suelo por la actividad ganadera para 1996.

El suelo total ocupado (289,142.9 km<sup>2</sup>) en 1996 se ajusta mediante las existencias físicas de ganado en 1996 y 1985<sup>264</sup>:

$$\text{Suelo total (1985)} = \text{Suelo total (1996)} \times (\text{Exist. Físicas en 1985}) \div (\text{Exist. Físicas en 1996})$$

Se asume también la asignación relativa de 1996 para las mismas formaciones prevaletientes, los resultados se presentan en la tabla 2.2.1-3.

Año 1996	B	S	OC	PG	CA	TOTAL
PG	8,095.3	14,337.6	9,413.0	245,700.0	11,597.0	289,142.9
Año 1985	B	S	OC	PG	CA	TOTAL
PG	6,210.2	10,998.8	7,221.0	188,484.3	8,896.4	221,811

Nótese que para 1996 el uso de suelo para las actividades ganaderas (245,700 km<sup>2</sup>) es mayor que las disponibilidades de suelo con pastizales inducidos y cultivados (216,787.8 km<sup>2</sup>), por lo que la diferencia (28,912.2 km<sup>2</sup>) se asigna obviamente como ocupación espacial dentro del área de los pastizales naturales que equivalen a 88,337 km<sup>2</sup>. Las dos primeras cifras se ubican en la columna de las actividades ganaderas (caza y pesca) en la tabla 2.2.1-4a. Las formaciones bosques y selvas ocupadas por la ganadería de la tabla 2.2.1-3 se asignan directamente, con excepción de la práctica ganadera en los rubros de "Otras coberturas con vegetación" que se asigna a la categoría de "Matorrales", y la "Cobertura antrópica" que se asigna al suelo de

<sup>264</sup> Por sus impactos espaciales importan los ganados bovino, ovino y caprino, aunque el primer tipo tiene efectos más expansivos, por ello tomamos el *stock* de ganado bovino como indicador de la actividad en general; los ganados ovino y caprino son más intensos o severos los efectos sobre la calidad del suelo, pero se desconoce las áreas ocupadas. Si revisamos la tendencias nacional y por entidad federativa en las existencias ganaderas durante los 90's podemos destacar lo siguiente. En términos generales el crecimiento del *stock* nacional ganadero crece menos del 2% en promedio. La RCM se "desganaderiza" apreciablemente en ganado bovino, pero aumenta la actividad en ganado ovino y un poco menos en caprino (Cuadros III.5.5 a III.5.8 en "Estadísticas del Medio Ambiente, México 1999", tomo I INEGI (2000), pp. 398-401).

agricultura de temporal (8896.4 km<sup>2</sup>); asignación consistente con la clasificación de la información utilizada. Las áreas totales ocupadas por los tipos de agricultura (Tabla 2.1-5) son asignaciones directas para las celdas respectivas en la nueva tabla 2.2.1-4a.

Las otras dos columnas del sector primario, que incluye todos los tipos de agricultura y la silvicultura, se ajustan con facilidad, directamente a las disponibilidades totales de suelo para esas actividades. En suma, hemos identificado las asignaciones de suelo para el conjunto de actividades del sector primario, las que se presentan en la tabla 2.2.1-4a. De manera similar se estiman los usos de suelo por las actividades del sector primario para el año de 1985 (Tabla 2.2.1-4b).

Con esa casi totalidad de los usos del suelo nacional (99.5 %) dentro de la cual se han identificado las actividades primarias, restaría una muy pequeña porción relativa equivalente a 0.5% donde se localizan las actividades humanas dominantes pues en ellas se genera un poco más de 85% del PIB nacional, que son las actividades secundarias, terciarias, áreas residenciales y de infraestructura pública en general.

## 2.2.2 Sectores secundario y terciario

Es una situación paradójica, tanto a escala nacional como regional, que áreas tan pequeñas en extensión espacial en las que se localizan densamente actividades humanas de producción y consumo, "focos calientes" en donde se generan grandes impactos sobre los ecosistemas, no se disponga de información suficiente y específica sobre los tipos del suelo que ocupan estas actividades económicas, su dinámica de expansión y las áreas de influencia de sus impactos. En ausencia de datos, en tanto no se disponga de algún soporte estadístico más confiable, asumimos los siguientes criterios de asignación sobre las proporciones de ocupación espacial de las actividades humanas que no son primarias<sup>265</sup> (Tabla 2.2.2-1):

Ocupación del suelo por actividad	Proporción asignada del área de referencia (en %)
GD - 2	1.0 % del total de la categoría "Otros tipos de vegetación" (Matorrales, hidrófila, etc.)
GD - 3	10.0% para las Divisiones I a IX del total de la categoría "asentamientos humanos", distribuidas igualmente.
GD - 4 y 5	2.5% para cada GD del total de la categoría "asentamientos humanos"
GD - 6	5.0% del total de la categoría "asentamientos humanos"
GD - 7, 8 y 9	10.0% para cada GD del total de la categoría "asentamientos humanos"
Área residencial e infraestructura gral.	50.0% del total de la categoría "asentamientos humanos"

<sup>265</sup> Que involucran, como ya se ha dicho, áreas residenciales, infraestructura general y las grandes divisiones (GD) restantes a las primarias que serían: GD-2 (Minería e industrias extractivas), GD-3 (Manufacturas), GD-4 (Electricidad, gas y agua), GD-5 (Construcción), GD-6 (Comercio, restaurantes y hoteles), GD-7 (Transporte, almacenaje y comunicaciones), GD-8 (Servicios financieros, seguros, actividades inmobiliarias y de alquiler) y GD-9 (Servicios comunales, sociales y personales).



Dichas actividades están en las aglomeraciones urbanas y para las necesidades de información de la matriz de insumo-producto involucran a las áreas ocupadas por las empresas y los hogares y otras organizaciones que, en conjunto, expresan los componentes de la demanda por usos (consumo) finales e intermedios. Se trata de actividades que están densamente localizadas y corresponden a 100% del área bajo la denominación "Asentamientos humanos". Aunque se trata de supuestos gruesos, los criterios de la tabla 2.2.2-1 no están tan alejados de la realidad, pero además, el monto total por asignar es bajísimo (0.5% del total).

Las tablas 2.2.2-2a y 2b realmente son matrices de distribución del suelo ocupado por los diferentes sectores de actividad económica, compatibles con el SCN, según los tipos manejados de formaciones naturales y antrópica. El vector estimado que buscamos es la última fila de esta tabla.

### 2.3 Procedimiento para construir el vector de ocupación del suelo regional

Desafortunadamente para la construcción de la matriz de distribución de usos del suelo en la RCM, no podemos replicar el procedimiento empleado para el caso nacional porque la información de partida sobre el modelo de proceso de impacto pecuario y deforestación (Tabla 2.2.1-1) no está disponible en el estudio de referencia (INE e IG-UNAM, 2001) para la escala estatal.

Por tal razón tenemos que construir otro procedimiento razonablemente creíble para el caso regional a partir de la información oficial disponible, con sus debidos ajustes por la inconsistencia que haremos explícita en esta sección.

Tipos de formaciones	Ocupación por usos intermedios (sectores económicos)																	Usos por demanda final	Total de suelo por formación natural			
	G.D. 1(AGF)	G.D. 1(GAN, Casa y Pesca)	G.D. 1(SILV)	G.D. 2(*)	G.D. 3	G.D. 3	G.D. 3	G.D. 3	G.D. 3	G.D. 3	G.D. 3	G.D. 3	G.D. 3	G.D. 3	G.D. 3	G.D. 3	G.D. 3			G.D. 3		
Agricultura temporal	209,129.5	11,597.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	220,726.5	
Agricultura de riego y humedad	96,586.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96,586.7	
Plantación forestal	0.0	0.0	227.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	227.5	
Pastizales naturales	0.0	28,912.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	88,337.0	
Pastizales inducidos y cultivados	0.0	216,787.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	216,787.8	
Bosques	0.0	8,095.3	334,305.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	334,400.8	
Selvas	0.0	14,337.6	320,537.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	319,560.0	
Otros tipos de vegetación (Matocrales, hidrófila, etc.)	0.0	9,413.0	0.0	6,468.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	646,640.5	
Asentamiento humano	0.0	0.0	0.0	0.0	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	291.6	291.6	583.1	1,166.2	1,166.2	1,166.2	5,831.2	
Suelo total ocupado por sectores	305,716.2	289,142.9	655,070.5	6,468.4	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	291.6	291.6	583.1	1,166.2	1,166.2	1,166.2	5,831.2	1,934,981.5

### 2.3.1 Sector primario: Agricultura, ganadería (caza y pesca) y silvicultura

La actividad ganadera es crítica por su alto impacto para la conservación de los ecosistemas naturales en México, y preocupa por las prácticas extensivas de esta actividad. Históricamente el modelo dominante de degradación de los sistemas ambientales ha presentado la secuencia: *deforestación* → *uso ganadero del suelo* → *uso agrícola* → *abandono del suelo por baja productividad*.

Las políticas nacionales en la materia han reforzado esta tendencia a la degradación de la calidad de los suelos al permitir la ganadería extensiva en prácticamente todos los espacios nacionales donde la actividad tenga una rentabilidad privada atractiva; no hay región ecológica donde no existan evidencias de ella o se considere propicia la crianza abierta de ganado (Tabla 2.3.1-1).

Estado/Región	Superficie total oficial (en has)	Regiones Ecológico-ganaderas por entidad federativa (has, 1999)*					Totales
		Templada	Árida	Semiárida	Trópico Húmedo	Trópico seco	
Distrito Federal	147,900	149,900	0	0	0	0	149,900
Hidalgo	2,081,300	878,683	0	904,520	306,964	8,533	2,098,700
México	2,135,500	1,366,100	0	520,000	0	260,000	2,146,100
Morelos	495,000	133,600	0	0	0	360,500	494,100
Puebla	3,390,200	1,596,418	0	701,365	340,250	753,867	3,391,900
Tlaxcala	401,600	353,150	0	38,250	0	0	391,400
RCM	8,651,500	4,477,951	0	2,164,135	647,214	1,382,900	8,672,100
Nacional	195,820,100	46,036,751	55,775,088	39,217,585	23,975,857	31,712,019	196,717,300

\* FUENTE: Cuadro III.1.5.1, INEGI-SEMARNAP (1993a), pp 393. Se refiere a la superficie, según condición ecológica, en donde puede practicarse la ganadería.

El instrumento de control más importante de la actividad se ha centrado en el llamado *coeficiente de agostadero* (superficie requerida/unidad animal). La autoridad oficial determina los niveles de este indicador para todos los tipos de formaciones naturales existentes en el territorio nacional, aunque con amplias variaciones que posibilitan identificar aquellos espacios naturales más adecuados para el desarrollo ganadero como las formaciones con matorrales y pastizales, pero que se traslapan los valores altos de estos coeficientes con los asociados a las áreas forestales (Tabla 2.3.1-2).

Tipos de vegetación	Número de categorías por tipo de vegetación	Superficie ganadera (en has)	Variación entre categorías de coeficientes de agostadero (en has/unidad animal)	
			Mínimo	Máximo
Pastizal	10	24,334,273	5.0 a 13.5	10.4 a 48.2
Matorral	21	62,157,337	7.46 a 54.0	23.0 a 80.0
Bosque	16	46,032,670	0.8 a 24.6	4.5 a 43.5
Selva	17	47,818,710	0.8 a 13.7	2.0 a 32.0
Otras superficies	1	16,374,310	N/D	N/D
Total Nacional	N/A	196,717,300	N/D	N/D

Fuente: Cuadro III.1.5.3. INEGI-SEMARNAP (1999a), pp. 395-396.

Sin embargo, cuando revisamos los datos del último Censo Agrícola, Ganadero y Forestal (INEGI, 1996) sobre la superficie ganadera registrada para los estados de la RCM y el promedio nacional, es fácil encontrar inconsistencias de la fuente de información (Tabla 2.3.1-3).

Sólo para ilustrar los casos extremos dentro de la RCM, el estado de México registra un área por uso ganadero mayor a su superficie total oficialmente reconocida (límites jurídico-administrativos) en 17.1%; el suelo estatal de Morelos está altamente “ganaderizado”, pues la actividad ocupa 81% de su espacio oficial; igualmente poco creíble resulta que casi 40% del espacio de Hidalgo se destine a esta actividad, o que el espacio ganadero del Distrito Federal sea casi el doble del más bajo de la RCM, Tlaxcala, cuya producción física (número de cabezas de ganado) en 1996 fue 5.3 veces mayor que la del DF.

Estado/Región	Superficie total oficial (en has)	Superficie ganadera (en has)*	Superficie ganadera (en % del total)
Distrito Federal	147,900	16,300	11.02
Hidalgo	2,081,300	815,000	39.16
México	2,135,500	2,500,000	117.07
Morelos	495,000	400,000	80.81
Puebla	3,390,200	700,000	20.65
Tlaxcala	401,600	26,000	6.47
RCP	8,651,500	4,457,300	51.52
Nacional	195,820,100	109,782,300	56.06

\* Fuente: Cuadro III.1.5.2. INEGI-SEMARNAP (1999a), pp. 394. Se refiere a la superficie, según condición ecológica, en donde puede practicarse la ganadería.

Esta situación de incertidumbre en las fuentes oficiales tiene una explicación que considero está debidamente documentada en estudios sobre los regímenes de propiedad de la tierra en México: la propiedad ganadera ha sido la figura institucional del viejo régimen mexicano para encubrir la concentración de la propiedad de la tierra, el recurso o instrumento ha sido el llamado coeficiente de agostadero. Para los fines de balance de recursos ambientales no

sirve<sup>266</sup>, ha sido más bien la figura legal de la mascarada bajo la denominación “pequeña” propiedad ganadera.

Una evidencia más de la anterior aseveración se muestra en la tabla 2.3.1-4, donde se realiza una estimación de los coeficientes de agostadero efectivos o ejercidos, en el sentido de la superficie requerida para generar las producciones físicas de ganado para la década de los noventa, tomando la producción más alta (1990) y la de nuestro año de interés (1996). Los valores estimados en promedio años están por debajo de los mínimos registros oficiales<sup>267</sup>.

Estado/ Región	Superficie ganadera (en has)	Coeficiente agostadero* (en has/unidad animal)			Producción física de ganado bovino (en número de cabezas)		Coeficiente de agostadero efectivo o ejercido	
		Mínimo	Máximo	Ponderado	1990*	1996	1990*	1996
DF	16,300	5.05	19.68	13.35	16,874	5,213	0.97	3.13
MÉX	815,000	0.80	38.55	6.41	542,673	385,840	1.50	2.11
HGO	2,500,000	5.05	23.42	9.33	916,294	338,837	2.73	7.38
MOR	400,000	6.70	19.68	10.85	150,202	92,698	2.66	4.32
PUE	700,000	0.90	33.40	7.82	615,337	478,139	1.14	1.46
TLAX	26,000	4.96	24.43	10.10	97,341	27,560	0.27	0.94
<b>RCM</b>	<b>4,457,300</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>	<b>2,338,721</b>	<b>1,328,287</b>	<b>1.91</b>	<b>3.36</b>
<b>NAL</b>	<b>109,782,300</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>	<b>32,054,300</b>	<b>29,301,344</b>	<b>3.42</b>	<b>3.75</b>

FUENTE: Cuadros II.5.1.2 a 4, INEGI-SEMARNAP (1999a), pp 394-397.  
\* Rangos de variación de los registros oficiales publicados.

En consecuencia, nos vemos en la necesidad de “reconstruir”, confiablemente, la información disponible para la región con base en dos indicadores: la producción física medida en cabezas de ganado y la identificación de las áreas con formaciones naturales más aptas y con evidencia de actividad ganadera.

Los pastizales naturales, los inducidos y cultivados, y los matorrales, predominantemente, son las formaciones naturales con vocación ganadera porque aseguran altos márgenes de rentabilidad en esta actividad. Para estimar el suelo con vocación ganadero se seleccionaron estos rubros como parte del potencial, en conjunción con los bosques y selvas de la región con un perceptible grado de fragmentación. La razón de incorporar estas áreas como la otra parte del suelo ganadero fue porque los coeficientes de agostadero promedio (ponderados) por entidad asociados a bosques y selvas son relativamente altos. En general, las zonas con mayor accesibilidad son las que mejor responden al modelo ya mencionado de uso ganadero del suelo: deforestación → uso agropecuario.

<sup>266</sup> “...Los coeficientes de agostadero son permanentes porque se calculan para condiciones naturales; es decir, sin considerar las perturbaciones provocadas por mal uso o bien, mejoras de las condiciones de los sitios evaluados. Tienen carácter legal y son vigentes para determinar el tamaño de la pequeña propiedad ganadera. Sin embargo, para fines de manejo real y actual, los valores que se reportan deberán ajustarse a las condiciones actuales de vegetación, clima, suelo y especie animal que utiliza los recursos en los sitios que se considere, entre otros factores.” (pie de pág. # 1 Cuadro III.1.5.3, pp395-396; INEGI-Semarnap, 1999a).

<sup>267</sup> El promedio pesado para la RCM de los coeficientes oficiales mínimos es de 3.77 (has/unidad animal).

Dado que se conoce el potencial del área con vocación para la actividad, el supuesto para estimar la superficie efectiva para uso ganadero es que cada unidad animal dentro del espacio de la RCM requiere la misma superficie para su producción. En consecuencia, la entidad *i* necesita de una superficie efectiva ganadera ( $S_i$ ) para generar un nivel de producción física ( $P_i$ ) y la región requerirá de una superficie total ( $S_R$ ) para un producto físico ganadero regional ( $P_R$ ). De esta manera es directa la obtención de una regla para el cálculo de la superficie efectiva ganadera:

$$S_i = \left[ \frac{P_i}{P_R} \right] \cdot S_R$$

En consecuencia necesitamos estimar  $S_R$ . La evidencia antes mostrada permite suponer que la actividad ganadera usualmente está presente en las siguientes formaciones naturales: pastizales naturales e inducidos, bosques y selvas fragmentadas, y matorrales. Para cada entidad federativa la suma de áreas de estas cinco categorías nos permite estimar el suelo potencial y con alta probabilidad de ser ocupado por prácticas ganaderas; y la suma para todas las entidades de la RCM<sup>268</sup> resulta en un valor para  $S_R$  (véase fila 10 de la tabla 2.3.1-5a y 5b).

Posteriormente, dado que conocemos los niveles de producción física por entidad y como la ocupación efectiva está directamente determinada por éstos, entonces podemos conocer los valores estimados para las  $S_i$  de la ecuación anterior (véase fila 10 de la tabla 2.3.1-5a y 5b).

A continuación necesitamos ir en sentido contrario, repartir para cada entidad las áreas de las formaciones naturales que están efectivamente ocupadas para actividades ganaderas. Una vez estimado el suelo ganadero efectivo totales por estado y región, estos valores totales se redistribuyen en proporción a las participaciones relativas de las formaciones naturales “aptas” (cinco categorías mencionadas) respecto al área total con vocación ganadera:

$$S_{ij}^{ef} = \left[ \frac{S_{ij}^{pot}}{S_i^{pot}} \right] \cdot S_i^{ef}$$

donde  $S^{ef}$  y  $S^{pot}$  identifican las áreas efectiva y potencialmente ocupadas por la actividad ganadera en la *i*-ésima entidad federativa ( $i = 1, \dots, 6$ ) y en la *j*-ésima formación natural ( $j = 1, \dots, 5$ ) para los años de 1996 y 1985 (véase Tabla 2.3.1-6a y 6b). Con ello tenemos el vector de usos del suelo por ganadería (caza y pesca).

---

<sup>268</sup> Es obvio que los valores de la fila 10 están sobrestimados y aún así, el registro oficial está muy excedido, más de dos veces en promedio regional y los casos extremos en los estados de México, Hidalgo D.F. y Morelos; como ya se había conjeturado. Se trata también de espacios con fuertes presiones por la expansión urbana.

Áreas diferentes requeridas para estimar el suelo ganadero efectivo (en has)	DF	MÉX	HGO	MOR	PUE	TLAX	RCM
Área de bosques	35,248.6	620,068.6	483,929.4	48,528.9	600,770.0	64,892.6	1,853,438.0
Área de selvas	0.0	107,386.4	108,290.0	116,041.1	576,938.6	0.0	908,656.1
Área de matorrales	566.1	16,176.3	267,960.4	244.9	280,917.4	6,497.6	572,362.7
Áreas de pastizales naturales	177.0	5,731.6	2,124.9	40.3	5,117.0	453.9	13,644.6
Áreas de pastizales inducidos y cultivados	8,344.7	334,100.6	251,694.7	34,078.1	344,269.6	31,024.0	1,003,511.7
% de bosques fragmentados (medidas en términos físicos, m3 en rollo)*	0.00	4.35	1.08	0.00	9.87	2.45	3.78
% de Selvas fragmentados (medidas en términos físicos, m3 en rollo)*	0.00	11.55	37.71	0.00	4.04	0.00	9.95
Área bosques fragmentados	0.0	26,965.0	5,211.0	0.0	59,279.3	1,590.8	70,034.2
Área selvas fragmentadas	0.0	12,407.7	40,831.4	0.0	23,296.2	0.0	90,386.1
Área del suelo con potencial ("vocación") ganadero**, SR	9,087.9	395,381.1	567,822.4	34,363.3	712,879.5	39,566.2	1,749,939.3
Superficie ganadera referencial (Dato: registro oficial, en Has)	16,300.0	815,000.0	2,500,000.0	400,000.0	700,000.0	26,000.0	4,457,300.0
% del total de producción física de RCM	0.39	29.05	25.51	6.98	36.00	2.07	100.00
Área del suelo ganadero efectivo (o estimado; Si)	6,867.8	508,321.3	446,397.7	122,124.1	629,919.8	36,308.7	1,749,939.3

\*Cuadro II.5.15, INEGI-SEMARNAP (1999A), pp 273.\* Se trata de bosques afectados por actividades agropecuarias en los que sólo quedan manchones de la vegetación original (10 al 40% distribuido en forma irregular); principalmente de vegetación secundaria

\*\*Y igual a (Área Pastizales y matorrales) + (Área bosques y selvas fragmentados).

Tipos de Formaciones naturales (cobertura vegetal)	DF	MÉX	HGO	MOR	PUE	TLAX	RCM
Agricultura de temporal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agricultura de riego y humedad	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Plantación forestal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pastizales naturales	133.8	7,368.8	1,670.5	143.2	4,521.5	416.5	14,254.2
Pastizales inducidos y cultivados	6,306.2	429,536.1	197,871.6	121,110.7	304,206.0	28,469.7	1,087,500.4
Bosques	0.0	34,667.5	4,096.7	0.0	52,380.8	1,459.8	92,604.8
Selvas	0.0	15,951.9	32,099.9	0.0	20,585.1	0.0	68,636.9
Otros tipos de vegetación (Matorrales, hidrófila, etc.)	427.8	20,797.0	210,659.0	870.2	248,226.3	5,962.6	486,943.0
Asentamiento humano	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Suelo total	6,867.8	508,321.3	446,397.7	122,124.1	629,919.8	36,308.7	1,749,939.3

El suelo ocupado para las actividades agrícolas se extrae directamente del estudio de referencia. Mientras que para la actividad silvícola regional, como en el caso nacional, se contabiliza como parte del *stock* de recursos forestales restantes (bosques y selvas) descontando las otras ocupaciones que compiten por el mismo tipo de formación. Hemos completado el vector de usos del suelo por el sector primario (G.D. 1).

Es interesante observar también que, mientras la propiedad ganadera del suelo asciende a 51.5% de la superficie total de la RCM, nuestro estimado del suelo ganadero efectivo representa 19.8%, una diferencia significativa de 31.7% del suelo total de la región y se trata de

una estimación gruesa de una superficie que no es realmente utilizada para la producción ganadera.

### 2.3.2 Sectores secundario y terciario

Por la misma justificación que en el caso nacional, mientras no se disponga de algún soporte estadístico confiable para el regional, asumimos los mismos criterios de ocupación espacial para las grandes divisiones (Tabla 2.2.2-1). La diferencia ahora es que la proporción del espacio por asignar para las actividades secundarias y terciarias, más las áreas residenciales (hogares) y de infraestructura en general, estas últimas ubicadas como usos por demanda final, representan cerca de 3%<sup>269</sup>. Sigue representando un monto relativo muy bajo respecto del total regional, pero como era de esperar, se trata del área más densamente poblada y con la más alta concentración de actividad económica del país. La matriz de distribución de uso del suelo regional resultante para el año de 1996 puede verse en la siguiente tabla 2.3.1.7a. De la tabla 2.1-5 recuperamos las áreas totales por tipo de formación para la RCM en 1996 y 1985, serían los últimos vectores columna de las nuevas tablas 2.3.1-7a y 7b en las cuales se vacían los vectores sectoriales construidos.

Tipos de formaciones	Ocupación por usos de demanda intermedia (sectores económicos)																		Usos por demanda final	Total de suelo por formación natural					
	G.D.1 (Agric)	G.D.1 (Gan-Casa-Pesca)	G.D.1 (Silv)	G.D.2	G.D.3 Div I	G.D.3 Div II	G.D.3 Div III	G.D.3 Div IV	G.D.3 Div V	G.D.3 Div VI	G.D.3 Div VII	G.D.3 Div VIII	G.D.3 Div IX	G.D.4	G.D.5	G.D.6	G.D.7	G.D.8			G.D.9				
Agricultura de temporal	33,480.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33,480.8	
Agricultura de riego y humedad	7,307.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7,307.6
Plantación forestal	0.0	0.0	45.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.6
Pastizales naturales	0.0	142.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	141.1
Pastizales inducidos y cultivados	0.0	10,875.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10,147.8
Bosques	0.0	926.0	17,140.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18,066.7
Selvas	0.0	686.4	7,992.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8,678.4
Otros tipos de vegetación (Matorrales, hidrófila, etc.)	0.0	4,869.4	0.0	63.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6,311.5
Asentamiento humano	0.0	0.0	0.0	0.0	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6	57.6	57.6	115.1	230.3	230.3	230.3	1,151.4	0.0	0.0	2,302.9	
Suelo total ocupado por sectores	40,788.4	17,499.4	25,178.1	63.1	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6	57.6	57.6	115.1	230.3	230.3	230.3	1,151.4	0.0	0.0	86,482.2	

Fuente: Elaboración propia.

Para concluir esta sección sobre el factor ambiental suelo, donde se han estimado los vectores de ocupación del suelo por las distintas actividades económicas de producción y consumo compatibles con el SCN y desagregadas por usos debidos a la demanda intermedia y a la demanda final. Con los últimos vectores-fila de las tablas 2.3.1-7a y 7b, y sus equivalentes

<sup>269</sup> El equivalente para el promedio nacional fue de alrededor del 0.5%.

nacionales, permiten obtener los vectores ambientales buscados y que se resumen en las tablas 2.3.1-8a y 8b.

Tabla Resumen 2.3.1-8a. Nacional y RCM: Ocupación del suelo por sectores de actividad económica (en Km <sup>2</sup> ; 1996).			Tabla Resumen 2.3.1-8b. Nacional y RCM: Ocupación del suelo por sectores de actividad económica (en Km <sup>2</sup> ; 1985).		
Sectores económicos (SCN)	Ocupación del suelo por sectores, agregado nacional	Ocupación del suelo por sectores, agregado regional	Sectores económicos (SCN)	Ocupación del suelo por sectores, agregado nacional	Ocupación del suelo por sectores, agregado regional
<b>USOS POR DEMANDA INTERMEDIA</b>	1,262,227.18	84,600.50	<b>USOS POR DEMANDA INTERMEDIA</b>	1,199,803.53	86,055.32
I.1 Agricultura	305,716.2	40,788.4	I.1 Agricultura	266,451.8	38,623.4
I.2 Ganadería, caza y pesca	289,142.9	17,499.4	I.2 Ganadería, caza y pesca	221,810.7	18,537.0
I.3 Silvicultura	655,070.5	25,178.1	I.3 Silvicultura	701,808.2	28,086.1
II. Minería y extracción de petróleo	6,466.4	63.1	II. Minería y extracción de petróleo	6,703.9	73.5
III. Industrias manufactureras	1,166.2	230.29	III. Industrias manufactureras	605.8	147.08
III.1 Alimentos, bebidas y tabaco	129.6	25.6	III.1 Alimentos, bebidas y tabaco	67.3	16.3
III.2 Textiles, vestido y cuero	129.6	25.6	III.2 Textiles, vestido y cuero	67.3	16.3
III.3 Madera y productos de madera	129.6	25.6	III.3 Madera y productos de madera	67.3	16.3
III.4 Papel, prod. de papel, imprentas y editoriales	129.6	25.6	III.4 Papel, prod. de papel, imprentas y editoriales	67.3	16.3
III.5 Química, der. Petróleo, caucho y plásticos	129.6	25.6	III.5 Química, der. Petróleo, caucho y plásticos	67.3	16.3
III.6 Miner. No-metálicos, excepto der. Petróleo y carbón	129.6	25.6	III.6 Miner. No-metálicos, excepto der. Petróleo y carbón	67.3	16.3
III.7 Industrias Metálicas básicas	129.6	25.6	III.7 Industrias Metálicas básicas	67.3	16.3
III.8 Productos Metálicos, maquinaria y equipo	129.6	25.6	III.8 Productos Metálicos, maquinaria y equipo	67.3	16.3
III.9 Otras. Ind. Manufactureras	129.6	25.6	III.9 Otras. Ind. Manufactureras	67.3	16.3
IV. Electricidad, gas y agua	291.6	57.6	IV. Electricidad, gas y agua	151.4	36.8
V. Construcción	291.6	57.6	V. Construcción	151.4	36.8
VI. Comercio, restaurantes y hoteles	583.1	115.1	VI. Comercio, restaurantes y hoteles	302.9	73.5
VII. Transportes, almacenaje y comunicaciones	1,166.2	230.3	VII. Transportes, almacenaje y comunicaciones	605.8	147.1
VIII. Servicios financieros, seguros, activ. inmobiliarias y de alquiler	1,166.2	230.3	VIII. Servicios financieros, seguros, activ. inmobiliarias y de alquiler	605.8	147.1
IX. Servicios comunales, sociales y personales	1,166.2	230.3	IX. Servicios comunales, sociales y personales	605.8	147.1
<b>USOS POR DEMANDA FINAL</b>	5,831.2	1,151.4	<b>USOS POR DEMANDA FINAL</b>	3,028.9	735.4
<b>USOS POR DEMANDA TOAL</b>	1,268,058.42	85,831.93	<b>USOS POR DEMANDA TOAL</b>	1,202,832.45	86,790.73
Fuente: Elaboración propia.			Fuente: Elaboración propia.		

Cabe señalar que cada una de las secciones correspondientes a los factores ambientales considerados terminará con una tabla resumen idéntica a las tablas 2.3.1-8a y b.

### 3. Factor ambiental agua-insumo<sup>270</sup>

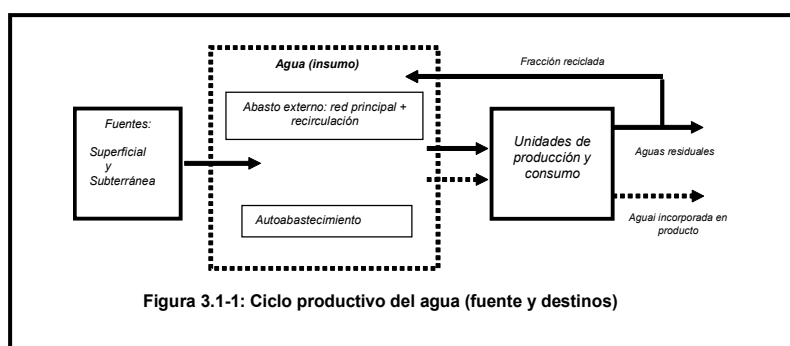
#### 3.1. Introducción

<sup>270</sup> Por la abundancia de tablas y para mantener la fluidez de la lectura del texto, a partir de esta sección las tablas se encuentran en el Anexo Estadístico.



Para identificar los requerimientos de información y contrastarla con la disponible, se necesita visualizar el recurso hídrico desde la perspectiva de su ciclo de uso completo.

El esquema siguiente ilustra (Figura 3.1-1), con base en una unidad de producción (uso intermedio) y/o de consumo final, las entradas de agua como insumo por origen propio (autoabastecimiento) o externo a través de la red principal, y las salidas como desechos de aguas residuales que van a su disposición final o a sistemas de tratamiento para su recirculación y uso posterior.



El sistema de información ambiental en México es deficiente en términos generales; ya hemos visto el caso de los usos del suelo y lo veremos posteriormente para otros factores ambientales. Para el recurso hídrico en particular y desde la perspectiva del ciclo del uso/disposición del agua, la información disponible presenta varias insuficiencias que dificultan la elaboración de estudios detallados de disponibilidad y demanda del recurso a diferentes escalas del análisis por varias razones:

1) El valor más confiable de los balances hídricos existentes, responsabilidad de la Comisión Nacional de Aguas (CNA), se tiene al nivel de cuencas hidrológicas.

2) La información existente es parcial, muy agregada y las series históricas están incompletas, cuando las necesidades de planeación del recurso requieren de la desagregación confiable a escala estatal y municipal y, de manera muy importante, por sectores de la actividad económica compatibles con nuestro sistema de cuentas nacionales (SCN). A pesar de las dificultades para realizar los balances de materiales respectivos, esto es realmente posible mediante la construcción de modelos y su validación por expertos de tal manera que las cifras publicables tengan la garantía de calidad para situaciones de conflicto.

3) El deficiente control sobre el ciclo de abasto/uso imposibilita obtener registros confiables sobre el autoabastecimiento y los montos reciclados; aunque se dispone a escala nacional y

estatal de los gastos de aguas residuales tratadas, no sabemos si el tratamiento (físico, químico y/o biológico) es para hacer el vertido final en cumplimiento de la normatividad respectiva o que la calidad sea tal que alguna fracción de este volumen tratado se destine para su reutilización en algún tipo de proceso productivo (agua de servicio en industrias, etc.) o cualquier otra actividad humana.

4) Como tampoco se conoce los tipos de usos productivos o de consumo final del recurso, si es agua de servicio industrial, va incorporada al producto (muy importante en sectores de alimentos e industria química) u otro uso, que permita tener un buen conocimiento para la planeación de la infraestructura futura y la posible creación de mercados especializados del agua; no sólo para usos intermedio y final sino también, para la conformación de un sector de abatimiento de desechos.

En conjunto, estas limitaciones restringen la construcción de capacidades institucionales para la gestión "adaptativa" al ciclo hidrológico, pues vuelven difícil la ubicación espacial de los impactos que genera la actividad humana en general sobre el recurso.

La parte de salida del ciclo antes descrito, correspondiente a las aguas residuales que van a la disposición final después de algún tratamiento, si lo tienen, será abordado en la sección de desechos. Cabe señalar que es la única para la cual se dispone de más información, aunque insuficiente aún, pues no se tiene detalle en la desagregación sectorial de las fuentes generadoras.

Por la importancia crítica del recursos hídrico para el desarrollo regional y nacional, sería recomendable tomar en consideración la posibilidad de diseñar y construir un detallado *sistema de cuentas satelitales para el agua*, como uno de los instrumentos centrales de la planeación ambiental, que acompañe al ordenamiento ecológico del territorio, en la estructuración de un modelo de gestión adaptativa de largo plazo para los sistemas ambientales.

¿De qué información se dispone entonces y cómo se procesa para su integración en el marco de I-O? Normalmente la CNA presenta la información al nivel de cuencas hidrológicas, única escala para la cual se dispone de balances hídricos, pero al nivel nacional, sin una desagregación económicamente pertinente, los datos como se presentan en el formato de la tabla 3.1-1, donde sólo se distingue los usos consuntivos y de los no-consuntivos según origen del recurso, no permiten ser conectados con las actividades humanas que alteran el ciclo.

En la desagregación al nivel de las entidades federativas se pierde el detalle de las aguas de origen superficial, pues ya no se documenta en las fuentes oficiales a pesar de su peso relativo dominante, baste señalar que los cinco tipos de usos consuntivos al nivel nacional se abastecieron en 64.5% de fuentes superficiales en 1998. Aunque son muy elevados los montos por uso agrícola, los usos industrial y público no son despreciables (Tabla 3.1-1). Entonces, para el nivel de entidad federativa la fuente de abastecimiento subterránea es la única para la

cual se presenta información sobre su extracción y usos, con un formato regular como el de la tabla 3.1-2<sup>271</sup>.

Una verificación rápida de la información oficial disponible sería que en lo posible se cumpliera una ecuación de balance hídrico (*entradas totales=salidas totales*), cualquiera fuese la escala espacial de presentación de tales cifras. Sin embargo, no cumple con un balance de materiales alrededor de lo que hemos identificado como ciclo productivo del agua, la comparación del gasto de agua como insumo para el sector industrial, agregado nacional para 1998, equivalente a 2,500 millones de m<sup>3</sup>/año (Tabla 3.1-1), y el gasto de aguas residuales generados que fue de 5,029.4 millones de m<sup>3</sup>/año (véase en sección 4). En general las salidas de las unidades productivas son el doble de las entradas registradas.

Por el monto, no se trata de ninguna manera de una discrepancia estadística, es evidente un control deficiente sobre la disponibilidad y usos del recurso hídrico –si fuese atribuible al autoabastecimiento, éste es realmente significativo, pero no puede atribuirse a la recirculación, si esta fuese regular, porque es tan baja que no está contabilizada<sup>272</sup>. Como es de esperar, una situación similar se presenta para la RCM.

### **3.2 Procedimiento para desagregar usos intermedios y finales**

En consecuencia, dado que el nivel de desagregación estatal es también insuficiente para conocer un vector de uso intermedio y final de agua como insumo, se requiere de un procedimiento con criterios de asignación de la oferta realizada de agua para los distintos sectores de actividad económica y del consumo final, para el caso nacional y el regional, que cumpla con una relación de balance como la siguiente:

$$\{\text{Usos totales}\} = \{\text{Usos intermedios}\} + \{\text{Usos finales}\}$$

donde los usos intermedios representan los usos de los sectores primario, secundario y terciario, las nueve grandes divisiones de nuestro SCN.

---

<sup>271</sup> Aunque los usos que compiten por las fuentes de abastecimiento es para la superficial y la subterránea y se pueden resolver con la creación de infraestructura hidráulica; las aguas subterráneas son críticas porque es el agua de mayor calidad y entra al consumo humano en fuerte competencia con los otros usos.

<sup>272</sup> Algunos otros problemas básicos de registro, sin resolver aún y que son muestra clara de la ineficiente contabilidad de la información (responsabilidad de CNA), están en los montos agregados para el rubro público, que mezcla industrias autoabastecidas y de servicios públicos, que incluye otras industrias y servicios domésticos.

La información de partida es la tabla 3.1-2, pero debido al insuficiente, confuso y traslapado registro sobre los usos de agua se instrumentan los siguientes pasos para conocer indirectamente los componentes secundario y terciario de los usos intermedios.

La agricultura tiene asignación directa de las cifras reportadas (Tabla 3.1-2) y son cero para la ganadería y la silvicultura, por razones obvias<sup>273</sup>. Por lo tanto, el procedimiento se reduce a las estimaciones para los sectores secundarios y terciario, pues las asignaciones por consumo final se hacen proporcionalmente al rango-tamaño de las poblaciones.

Entonces, como se conocen los montos por usos totales y los usos en la agricultura, y se asume que el uso final está fuertemente determinado por el consumo doméstico<sup>274</sup>, podemos calcular el componente relacionado con la demanda intermedia para los sectores secundario y terciario, como residual de la ecuación de balance de materiales anterior. A continuación se exponen los dos pasos básicos del procedimiento.

## PASO 1: ESTIMACIÓN DEL USO FINAL DE AGUA

El uso final está determinado fundamentalmente por el consumo individual (doméstico) y se estima mediante la expresión:

$$CTD_k = k_w P_k CD_k CP_k$$

Por lo que el consumo total doméstico para el espacio de interés, ya sea nacional o para la RCM en particular, es:

$$CTD = \sum_k CTD_k = k_w \sum_k P_k CD_k CP_k.$$

Donde

$CTD_k$ : Consumo total doméstico del k-ésimo tamaño de población, en millones m<sup>3</sup>/año;

$P_k$ : Población total del k-ésimo tamaño;

$CD_k$ : Consumo doméstico per cápita para el tamaño de población  $k$ , en lt/hab/día.

<sup>273</sup> Su tecnología de manera dominante se concreta a espacios abiertos sin infraestructura y los requerimientos de agua para la reproducción ganadera y forestal provienen directamente de la lluvia.

<sup>274</sup> Con diferentes consumos per cápita, según el tamaño de los asentamientos humanos.

$CP_k$ : Cobertura del servicio de agua potable, en % población total para el k-ésimo tamaño de población; y

$k_w$ : constante de conversión igual a  $0.365 \text{ (m}^3\text{/año) / (lt/día)}$ .

Los cálculos para el agregado nacional y la RCM en 1996 se resumen en la tabla 3.2-1, cuyas estimaciones de los usos por demanda final para el promedio nacional y la RCM resultaron ser del orden de 5,629.2 y 1,983.2 millones de  $\text{m}^3\text{/año}$ , respectivamente.

Pasamos ahora al cálculo de los componentes de la demanda intermedia asociados a los sectores secundario y terciario, como un residual de la ecuación de balance de materiales antes expuesta. La tabla 3.2-2 presenta las estimaciones, 2,130 y 926.5 millones de  $\text{m}^3\text{/año}$ , respectivamente. Como podrá observarse estos ajustes reducir los traslapes contables y la fuerte discrepancia con los gastos de aguas residuales ya mencionados, con la virtud adicional de cumplir el requerimiento de una ecuación de balance de materiales.

## **PASO 2: ESTIMACIÓN DE LOS USOS INTERMEDIOS DE AGUA PARA SECTORES SECUNDARIO Y TERCIARIO**

Para construir los criterios de asignación de los flujos de agua empleados en estos dos grandes sectores partimos de la idea, sustentada en el ciclo de uso productivo del agua, de que la mejor información disponible para estimar los requerimientos de agua asociadas a las tecnologías empleadas en cada uno de estos sectores son los flujos de aguas residuales que generan. Este es el contexto de información restringida existente: desagregación sectorial incompleta en número y clasificación de sectores respecto del SCN para las aguas residuales; la sección 4.0 de este Anexo detalla el problema.

El supuesto en que descansa este criterio se extrae de la ecuación de balance de materiales: *inputs* son proporcionales a los *output*. Por esta razón se pueden “reconstruir” los flujos *inputs* en función de los flujos *outputs*<sup>275</sup> para los sectores secundario y terciario. La forma concreta que adquiere el criterio es que los flujos totales requeridos<sup>276</sup> internamente se distribuyen de manera proporcional a los flujos de aguas residuales generados.

Un argumento económico que apoya este criterio de asignación propuesto es que el nivel de actividad sectorial, cualquiera sea su medida (PIB, VAB o empleo), no refleja fielmente la especificación tecnológica de la estructura económica existente en términos de los requerimientos físicos de agua como insumo. Es decir, el nivel de generación de producto o

---

<sup>275</sup> Véase figura 3.1-1 sobre el ciclo productivo del agua.

<sup>276</sup> Para 1996 los valores por asignar son: 2,130 y 926.5 millones  $\text{m}^3\text{/año}$ , nacional y RCM respectivamente.

valor agregado no es proporcional al empleo de agua en los procesos productivos. Por ejemplo, las industrias del azúcar y química en general demandan agua en una muy alta proporción y generan prácticamente la mitad de las aguas residuales (de proceso o servicio), las cuales no se corresponden necesariamente con el peso de sus niveles de actividad, cuyas participaciones relativas están muy por debajo de la mitad del PIB total. Este argumento se formaliza de la siguiente manera.

Dado que los flujos de agua como insumo ( $W_i^j$ ) para el  $i$ -ésimo sector de la  $j$ -ésima región- $j$  ( $j=Nal, RCM$ ) son directamente proporcionales a los flujos de aguas residuales generados por cada uno de los sectores- $i$  en la región- $j$  ( $F_i^j$ ), entonces podemos construir la siguiente igualdad:

$$W_i^j = k_i^j F_i^j \quad (1)$$

Donde las constantes de proporcionalidad  $k_i^j$ 's, son los *coeficientes sectoriales de transformación material* de uso de agua (insumo) a generación de aguas residuales; los flujos totales para cada  $j$  son:  $W^j = \sum_i W_i^j$  y  $F^j = \sum_i F_i^j$ . La justificación del supuesto anterior se expone a continuación.

Por lo tanto, necesitamos conocer primero el vector de generación sectorial de aguas residuales a nivel nacional y regional ( $F_i^j$ 's), tarea que se realiza en la siguiente sección 4, y una vez estimados podremos calcular las fracciones generadas  $f_i^j = \frac{F_i^j}{F^j}$ . De manera similar se puede definir la fracción usada de agua por el  $i$ -ésimo como  $w_i^j = \frac{W_i^j}{W^j}$  para toda  $j$ . Respecto a los flujos componentes de  $W$  solamente se conocen las  $W^j$  para estimar las  $W_i^j$ . Por lo que requerimos de un supuesto más resolver el problema de asignación sectorial del flujo total  $W^j$ .

Derivamos el supuesto directamente de la ecuación de balance de materiales, (*Entradas totales*)=(*Salidas totales*)+(*Variaciones de acervos*), cuyas expresiones general y sectorial son:

$$W^j = F^j + \Delta^j \quad (2)$$

$$W_i^j = F_i^j + \Delta_i^j \quad (3)$$

respectivamente. Pero como tampoco se conocen las  $\Delta$ 's, postulamos simplemente que la *variación de acervos son directamente proporcionales a las entradas o a las salidas; ambas son equivalentes*<sup>277</sup>. Entonces el supuesto lo expresamos mediante la siguiente relación formal:

$$\Delta_i^j = \alpha_i^j * F_i^j \quad (4)$$

$$W_i^j = F_i^j + \alpha_i^j * F_i^j = (1 + \alpha_i^j)F_i^j = k_i^j F_i^j \quad (5)$$

Si tomamos los totales por región-j (suma sobre los sectores) del supuesto anterior obtenemos:

$$\sum_i W_i^j = \sum_i k_i^j F_i^j \quad (6)$$

la cual también puede expresarse como:

$$W^j \sum_i w_i^j = F^j \sum_i k_i^j f_i^j \quad (7)$$

Si asumimos que las  $k$ 's en (7) son constantes e iguales al promedio sobre los sectores entonces podemos obtener que  $k_{avg}^j = \frac{W^j}{F^j}$ ; dado que por definición  $\sum_i w_i^j = \sum_i f_i^j = 1$ .

Esto es:

$$(W^j / F^j) \sum_i w_i^j = k_{avg}^j \sum_i f_i^j \quad (8).$$

Las estimaciones de los coeficientes promedio  $k_{avg}^j = \frac{W^j}{F^j}$  son:  $k_{avg}^{NAL} = \frac{2130}{4469} = 0.4766$  y  $k_{avg}^{RCM} = \frac{926.5}{1744.74} = 0.5310$ <sup>278</sup>. Pero también podemos expresar (7) como:

$$k_{avg}^j \sum_i w_i^j = \sum_i k_i^j f_i^j \quad (9);$$

<sup>277</sup> Si el supuesto tomara la forma  $\Delta_i^j = \alpha_i^j * W_i^j$ , entonces  $W_i^j = \frac{F_i^j}{(1-\alpha_i^j)} = k_i^j F_i^j$ .

<sup>278</sup> Los denominadores de la expresión para los coeficientes ( $k_{avg}^j$ 's) se encuentran estimados en la tabla 4.1.3-3 (sección 4), sus valores son 4,469 y 1,745 millones de m<sup>3</sup> (1996) para los agregados nacional y regional, respectivamente.

y obtener que  $k_{avg}^j = \sum_i k_i^j f_i^j$ . De la ecuación (8) podemos obtener también que  $\sum_i w_i^j = \sum_i f_i^j$ ; por lo tanto se debe cumplir  $w_i^j = f_i^j$ , que es la forma que se instrumenta finalmente en el algoritmo.

Los resultados del procedimiento para los casos nacional y regional se presentan en las tablas 3.2-3 y 3.2-4<sup>279</sup>; puede observarse que el procedimiento cumple el requerimiento de la ecuación de balance de materiales ya mencionado. Los coeficientes “sectorializados” ( $k_i^j$ ) que aparecen en las tablas anteriores se estiman así:  $k_i^j \equiv k_{avg}^j w_i^j$ ; la definición se extrae del lado derecho de la ecuación (8), de la siguiente manera:

$$(W^j / F^j) \sum_i w_i^j = \sum_i (k_{avg}^j w_i^j) = \sum_i k_i^j \quad (10)$$

Cabe destacar que el coeficiente  $k_{avg}^j$  está dado también por  $k_{avg}^j = \frac{W^j}{F^j} = \frac{\sum_i k_i^j x_i^j F^j}{\sum_i x_i^j F^j} = \frac{F^j \sum_i k_i^j x_i^j}{F^j \sum_i x_i^j} = \sum_i k_i^j x_i^j$ , expresión que resulta muy útil en caso de disponer de información parcial, pero confiable, sobre las  $W$ 's y  $F$ 's de algunos sectores que permitiera hacer más flexible el supuesto de  $k_i^j = k_{avg}^j$ .

Para estimar los vectores nacional y regional, para 1985, se toma como base los vectores correspondientes para 1996 y se emplean los coeficientes de intensidad de uso; en la sección 4 se presentan los detalles y su justificación. Para el uso de agua en el sector agrícola se normaliza por unidad de superficie de riego, mientras que para los sectores secundario y terciario se realiza empleando los PIB sectoriales. Para los usos finales el ajuste se realiza por tamaños de la población de los asentamientos humanos. Los resultados se presentan en la tabla 3.2-6.

#### 4. Factores ambientales para los servicios de asimilación y disposición temporal/definitiva de desechos

En esta se tratan los factores ambientales asociados a los desechos que generan las actividades de producción y consumo, y serán utilizados como indicadores de impacto más importantes. Aunque no están todos los desechos ni están debidamente clasificados y cuantificados, con los que se dispone de información en México serán suficientes para

<sup>279</sup> Se hará explícito en la siguiente sección las reasignaciones para los flujos sectoriales de aguas residuales según criterio 2.



dimensionar las presiones ambientales que inducen. Indirectamente se involucra al conjunto de servicios ambientales de asimilación y disposición temporal o definitiva de ellos.

Son tres los grupos de desechos a estudiar: 1) aguas residuales, 2) desechos sólidos municipales y 3) desechos peligrosos. Se excluyen del estudio la diversidad de emisiones de gases contaminantes al sistema atmosférico por las razones que se exponen al final de este Anexo.

## **4.1 Aguas residuales**

### *4.1.1 introducción al factor aguas residuales*

La información más desagregada disponible está a nivel nacional y para un solo año, 1998 (Tabla 4.1-1); ésta es la base de partida para la “reconstrucción” del vector ambiental de aguas residuales sectorializado. La tabla contiene información sobre la generación de aguas residuales de algunas industrias (usos intermedios), cuya clasificación no se corresponde completa y estrictamente con los sectores económicos del SCN, y sobre la generación por consumo final para tres rangos-tamaño de población de los asentamientos humanos.

Cabe señalar que la desagregación del componente de usos finales por tamaño de población será muy útil para la proyección en el procesamiento posterior, debido a que la generación anual per cápita de aguas residuales registra diferencias significativas: 86.37, 66.91 y 10.67, respectivamente, y 56.46 para el promedio nacional (en m<sup>3</sup>).

Como se puede observar, la tabla no especifica las cifras para las ramas de actividad del sector primario. Pero debido a que la ganadería (extensiva por excelencia) y silvicultura son cero, sólo resta conocer la estimación para la agricultura.

La resignación a cada uno de los sectores compatibles con el SCN se realiza tomando en consideración cuatro componentes: un “componente directo”, y los componentes que derivan de los criterios de asignación contruidos para repartir los rubros “Otros giros”, “Servicios” y “Otras industrias”, e importan por sus montos significativos.

### *4.1.2 Procedimiento de reasignación por sectores económicos: Caso nacional*

SECTOR PRIMARIO

En congruencia con lo supuesto para el factor ambiental agua como insumo en el sector primario, la ganadería (extensiva) y la silvicultura serán consideradas como actividades que no generan aguas residuales; son actividades productivas en espacios abiertos y sin estructuras tecnológicas de transformación material. Por lo tanto, la agricultura concentra la totalidad del uso de agua y la generación de aguas residuales del sector primario.

Aunque en la tabla 4.1-1 aparece el rubro confuso para la actividad agropecuaria, la cual bien puede involucrar parcialmente a la industria ligada a la transformación de las materias primas del sector primario, por ejemplo la rama alimenticia, como también a actividades de inexistente o muy bajo contenido de transformación secundaria, por lo que este monto será asignado al sector agricultura del SCN.

La evidencia empírica en que se apoya la asignación anterior es la siguiente. Se sabe que el perfil tecnológico de la agricultura en México es bajo en promedio nacional, incluso el de la RCM es más próximo al sur que a la región noroeste de México. Los sistemas de irrigación son muy deficientes en el manejo del agua, la eficiencia promedio oscila entre 35-40%, los grandes componentes de pérdida son la evaporación y la infiltración al subsuelo. La fracción marginal restante es el vehículo —escurrimiento propio de un sistema de irrigación por inundación— para arrastrar agroquímicos (fertilizantes, pesticidas, desfoliadores, etc.) y contaminar cuerpos de agua receptores superficiales o subterráneos. Por lo que considero creíble y confiable realizar la asignación de 21.76 (millones de m<sup>3</sup>) a la agricultura (equivale al 55% del gasto generado por la industria alimenticia)<sup>280</sup>.

#### SECTORES SECUNDARIO Y TERCIARIO

No obstante el rústico registro sobre la generación de aguas residuales por usos productivos intermedios, insistentemente señalado, los datos disponibles revelan cuando menos la dimensión del volumen de desechos generados por algunas industrias y una idea gruesa de la distribución de responsabilidades al respecto. El paso que sigue sería justo la reasignación de los rubros para los que se presenta la información a los correspondientes sectores de actividad económica compatibles con la clasificación del SCN y, por tanto, de las matrices de I-O que serán utilizadas.

Las razones que justifican por qué las estimaciones sectoriales se constituyen de los cuatro componentes se mencionan a continuación. Aunque para la gran mayoría de los rubros de partida de las llamadas “industrias” (fuente información oficial) no equivalen plenamente a la extensión de los sectores económicos del SCN, su reclasificación no representa grandes dificultades, más bien representa una fuente de subestimación real del tamaño de la generación

---

<sup>280</sup> Puede aparentemente resultar paradójico desde una perspectiva de balance de materiales, pues mientras que con insumo el agua en la agricultura es predominantemente el usuario principal, como aguas residuales sus gastos se disminuyen sustancialmente, incluso se vuelve marginal en la estructura de la información de la tabla de base (T-4.1-1) es que realmente el peso de la evaporación y la infiltración son muy altos, aunado al problema crónico de nuestra deficiente contabilidad física (agua).

de desechos. Los rubros “Servicios”, “Otras industrias” y “Otros giros” son denominaciones tan ambiguas que se tuvo que asumir alguna convención para realizar la asignación.

Para el caso de “Servicios” y “Otras industrias” existe un mínimo punto de soporte para fundamentar la convención. El caso difícil fue “Otros giros” cuyo peso relativo es alto --segundo mayor gasto en la tabla 4.1-1; para éste y los otros dos rubros especiales los criterios se hacen explícitos a continuación (véase Tabla 4.1.2-1):

- 1) El rubro “Otros giros” se asigna en su totalidad a los sectores que no tienen asignación directa en la tabla de base (III.3, III.6, III.9 y IV)<sup>281</sup> y se reparten proporcionalmente a sus niveles de actividad, medidos por sus PIB.
- 2) De manera similar, el rubro “Servicios” en su totalidad se asigna a los cuatro sectores de servicios: VI, VII, VIII y IX; y se reparte en proporción a sus niveles de actividad.
- 3) El rubro “Otras industrias” se distribuye conforme al tamaño de las empresas del sector manufacturero. Dado que este gasto generado es muy bajo, menos 100 m<sup>3</sup>/día --equivalentes a 1.157 (E-03) m<sup>3</sup>/s-- , se asigna a las micro y pequeñas industrias en función de su peso relativo del producto que generan.

El resumen de resultados obtenidos para cada uno de estos cuatro componentes y el total se presentan en la tabla 4.1.2-2. La porción correspondiente a la generación por uso final se considera que es directamente proporcional al gasto generado per cápita para diferentes rangos de tamaño de los asentamientos humanos, las estimaciones realizadas se resumen en la tabla 4.1.2-3.

Si para un tiempo dado (t=1998) conocemos el vector estimado de generación de aguas residuales,  $f_{i,t}$ , y el PIB del sector económico-i respectivo,  $y_{i,t}$ , su cociente permite calcular los *coeficientes de intensidad de generación* de aguas residuales por unidad de valor de producto sectorial (equivalentes al valor agregado),  $IG_{i,t}$ <sup>282</sup>; es decir:

$$IG_{i,t} = \frac{f_{i,t}}{y_{i,t}};$$

<sup>281</sup> Con la excepción de G.D. V (construcción); se considera que no es generadora relevante de aguas residuales, por lo que se asigna un gasto de cero.

<sup>282</sup> Cabe señalar que este tratamiento es totalmente compatible con la metodología IPPS (Industrial Pollution Projection System) del Banco Mundial (sitio: [www.worldbank.com](http://www.worldbank.com)).

Aplicable para cualquier ubicación espacial del sector de interés. Con ellos realizamos el ajuste de los valores del vector estimado anteriormente, pero ahora para el año de 1996 y para 1985, simplemente multiplicando el  $IG_{ij}$  por cada uno de los  $y_{i,t}$  's medidos para los años de 1996 y 1985:

$$f_{i,96} = IG_{i,98} * y_{i,96} ;$$

$$f_{i,85} = IG_{i,98} * y_{i,85} ;$$

Los valores estimados se presentan en la misma tabla 4.1.2-2. A partir del parámetro de proporcionalidad más confiable (dato,  $IG_{i,98}$ ), se realiza el ajuste de los flujos físicos generados para cualquier año, lo que implica un supuesto implícito de constancia de la  $IG$  o prevaencia de la tecnología en los sectores; equivale a suponer que:  $IG_{i,t_0} = IG_{i,t_1}$ . Véase el Cuadro de apoyo sobre lo que significa suponer cuasi-constancia o prevaencia tecnológica.

Hasta aquí hemos expuesto la manera de estimar el vector sectorial de generación nacional de aguas residuales para los años de 1996 y 1985, tomando como base el dato estimado del año base (1998). Ahora procedemos a estimar el lado de la asignación espacial (regional) mediante la hipótesis anterior (cuasi-constancia tecnológica) en el tiempo, con una sola diferencia, adecuación de un criterio específico para el sector primario; muy creíble para este nivel de desagregación espacial pues se emplea como peso relativo el área de cultivos de riego de la región comparado con el agregado nacional, pues es evidente que se usa agua sólo en las áreas con sistemas de irrigación.

### Cuadro de apoyo metodológico 3: Hipótesis sobre la cuasi-constancia o prevaencia tecnológica

Con más detalle esta hipótesis descansa en la siguiente racionalidad, no tan descabellada. Se postula que el cambio tecnológico tiene múltiples efectos, y uno de ellos, el que interesa resaltar, es que:

"Las velocidades de cambio de los procesos económico-ambientales de escala física que induce son menores (más lentos) que la expresión equivalente de procesos de escala económica medidos por la velocidad de cambio en la generación de valor agregado (crecimiento económico)". Formalmente, esta hipótesis adquiere la expresión concreta siguiente:  $\Delta f \ll \Delta y$ , con mayor precisión en términos de tasas de crecimiento sería así  $(df/dt)/f \ll (dy/dt)/y$ .

Esta hipótesis se cumple cuando ambas crecen, pero  $f$  lo hace mucho más rápido que  $y$ . El sentido del cambio tecnológico apoya esta hipótesis por dos hechos:

1) Los sectores económicos asociados con los cambios en el vector  $f$  son industrias con altas economías de escala física (manejo de altos requerimientos de materiales y energía) y que se han vuelto industrias tradicionales porque la evolución del precio de sus bienes ha sido lenta y tienden a comportarse más como mercancías. En relación a las nuevas ramas dinámicas, impulsoras del nuevo cambio tecnológico; son industrias como la agroindustria, minería, química, etc., en comparación la electrónica, informática y telecomunicaciones,....

2) En congruencia con la evidencia anterior, el cambio en el tiempo del coeficiente  $IG_{i,t}$  será pequeño porque dominan las variaciones en valor  $y$ . El avance tecnológico ha sido empujado por sectores intensivos en capital humano, que generan altos montos de valor agregado con insignificantes requerimientos físicos.

Estructuralmente se sostiene que  $f$  es predominantemente dependiente de la dinámica poblacional<sup>1</sup>, mientras que  $y$  es predominantemente dependiente de la dinámica económica.

Documentar empíricamente la hipótesis es un ejercicio que demanda información completa y confiable de la cual no se dispone en México; pero se puede diseñar un ejercicio de estimación lo mejor posible de la siguiente manera.

### 4.1.3 Procedimiento de asignación por sectores económicos: Caso regional

#### SECTOR PRIMARIO

Una vez más, porque no se tienen registros sobre los volúmenes anuales de agua como insumo y, por tanto, los montos de aguas residuales generadas por la actividad agrícola regional corregidos por algún factor de eficiencia, asumimos que ambos son directamente proporcionales a las superficies de riego empleadas para la actividad. No obstante sabemos que cada tipo de cultivo tiene sus propios requerimientos, consideramos que una primera aproximación lo más objetiva posible es utilizar el promedio global de agua usada por unidad de superficie de riego<sup>283</sup>. Por ende, para estimar el flujo regional de aguas residuales a partir del flujo nacional, ajustado por las respectivas superficies de riego es:

$$f_{agric,t}^r = f_{agric,t}^n \left( \frac{SR_t^r}{SR_t^n} \right)$$

donde

$SR_t^n; SR_t^r$ : Áreas para cultivos de riego en los espacios nacional y regional respectivamente, para el año de interés ( $t=1996$ );

$f_{agric,t}^n; f_{agric,t}^r$ : Flujos anuales de aguas residuales generados por las actividades agrícolas en los espacios nacional y regional respectivamente, para el año de interés ( $t=1996$ ).

Nótese que seguimos empleando la idea de estimar primero un coeficiente de intensidad de uso y posteriormente realizamos el ajuste temporal o espacial, según se requiera. En otras palabras, este criterio se concreta repartiendo el monto de  $f_{agric,t}^n$  (21.09 millones de  $m^3/año$ ) proporcionalmente a las superficies de riego cultivadas en la RCM. Las reasignaciones regionales estimadas se presentan en la tabla 4.1.3-1.

---

<sup>283</sup> En un contexto sin cambios tecnológicos profundos en los sistemas de irrigación de la agricultura nacional y regional, no es tan descabellado mantener el supuesto de *cuasi-constancia* del factor de intensidad de generación ( $f$ ) espacial y temporalmente. Incluso mantendría el mismo supuesto si estuviera disponible para la totalidad de tipos de cultivos con riego, simplemente la estimación sería más "precisa".

#### Cuadro de apoyo metodológico 4. Forma alternativa (más “precisa”)

Si tuviéramos información suficiente podríamos estimar también los requerimientos totales de agua como insumo de la siguiente manera:

$$W_{k,t}^j = \sum_k RW_{k,t}^j * RN_{k,t}^j * SR_{k,t}^j;$$

donde  $W_{k,t}^j$  : requerimientos de agua de riego para el k-ésimo producto agrícola cultivado en el j-ésimo espacio de interés (j=Nal, RCM) en el tiempo t (en m<sup>3</sup>);  $RW_{k,t}^j$  : requerimientos de agua de riego en el j-ésimo espacio de interés (j=Nal, RCM) en el tiempo t por unidad del k-ésimo producto agrícola cultivado (en m<sup>3</sup>/ton);  $RN_{k,t}^j$  : Rendimiento físico del k-ésimo producto agrícola por unidad de superficie cultivada en el espacio-j y tiempo t (en ton/ha);  $SR_{k,t}^j$  : superficie total cultivada del k-ésimo producto agrícola en el espacio-j y tiempo t (en has); y a partir del cálculo anterior podríamos corregir las  $W$  por un factor de eficiencia global ( $E_g$ ), el cual midiera cuánto de cada unidad de agua empleada para riego se escurre superficialmente y se va por infiltración de poca profundidad, de tal forma que se convierta en el vehículo de arrastre de sustancias agroquímicas y otras que se agregan al agua para constituir los flujos de aguas residuales derivados de esta actividad; esto es:

Dado que las actividades primarias restantes tienen valores iguales a cero, según argumentos ya mencionados, pasamos a la redistribución del resto de las aguas residuales generadas para la RCM.

#### SECTORES SECUNDARIO Y TERCIARIO

Para la asignación regional, bajo el mismo supuesto hecho para el ajuste de los flujos físicos en fechas distintas, se extiende espacialmente, lo que significa que la tecnología es la misma en cada uno de los sectores independientemente de su localización geográfica —equivale a suponer  $IG_{i,t}^r = IG_{i,t}^n$ —. Además, se exponen dos criterios para asignar los valores estimados para el vector regional de generación de aguas residuales sólo para los sectores secundario y terciario. Un ajuste es como el usado anteriormente, por nivel de actividad económica y el otro criterio que se realiza mediante el empleo de coeficientes de localización<sup>284</sup>.

#### CRITERIO 1:

$$f_{i,96}^r = IG_{i,98}^n * y_{i,96}^r$$

$$f_{i,85}^r = IG_{i,98}^n * y_{i,85}^r$$

<sup>284</sup> Como se ha expuesto en el punto anterior, en el sector primario, y en particular la agricultura, el ajuste se realiza proporcionalmente a las áreas de riego existentes en los espacios regional y nacional.

Con esta expresión estamos calculando el flujo físico de aguas residuales generado por el sector-i localizado en la región de interés para los dos fechas,  $f_{i,96}^r$  y  $f_{i,85}^r$ . Partimos del coeficiente nacional de intensidad de generación del sector-i ( $IG_{i,98}^n$ ) y seguimos haciendo un ajuste por nivel de actividad económica sectorial, pero ahora por el correspondiente al sector-i de la RCM,  $y_{i,96}^r$  y  $y_{i,85}^r$  (Véase Tabla 4.1.3-2).

Por ser ligeramente más altos los valores y más sencillos de estimar por el criterio 1 se selecciona éste último para la realización de los cálculos y ejercicios posteriores de esta investigación. Sin embargo, se realizaron estimaciones con el criterio 2 descrito en el Cuadro de apoyo metodológico 5.

Finalmente, como en el caso nacional, las asignaciones regionales para la generación de aguas residuales por uso final se obtienen ajustando proporcionalmente según el tamaño de los asentamientos humanos en la RCM; con una desagregación en tres categorías los resultados se presentan en la tabla 4.1.2-3. Así, concluimos la instrumentación del procedimiento y estamos en condiciones de presentar los vectores ambientales nacional y regional de generación de aguas residuales desagregado por usos intermedios y finales (tabla resumen 4.1.3-3) para los años de 1996 y 1985.

#### Cuadro de apoyo metodológico 5. Sobre el CRITERIO 2.

O alternativamente, si asumimos que los sectores siguen teniendo la misma tecnología, los efectos de las escalas de actividad no sólo sectorial sino también del tamaño relativo de la economía regional respecto de la nacional (referencia) son determinantes, entonces lo pertinente es utilizar los coeficientes de localización para realizar el cálculo buscado<sup>1</sup>:

Criterio 2:

$$IG_{i,96}^r = \begin{cases} IG_{i,96}^n * LQ_{i,96}^r; & \text{si } LQ_{i,96}^r < 1.0; \\ IG_{i,96}^n; & \text{si } LQ_{i,96}^r > 1.0 \end{cases}$$

Como puede observarse, la única modificación es que el papel que juegan los coeficientes técnicos ( $a_{ij}$ ) en la regionalización de la MIP nacional, ahora lo hacen los coeficientes de intensidad de generación del agregado nacional,  $IG_{i,96}^n$ . Los coeficientes de localización para la región-r y cada uno de los i-sectores,  $LQ_{i,96}^r$ , está dada por la siguiente expresión convencional:

$$LQ_{i,96}^r = \frac{y_{i,96}^r / y_{i,96}^n}{y_{i,96}^r / y_{i,96}^n} = \left( \frac{y_{i,96}^r}{y_{i,96}^n} \right) \left( \frac{y_{i,96}^n}{y_{i,96}^r} \right)$$

donde:  $y_{i,96}^r$ ,  $y_{i,96}^n$ : son los valores de las producción de cada uno de los i-sectores de la región-r y del promedio nacional-n, respectivamente.  $y_{96}^n$ ,  $y_{96}^r$ : son los valores del producto interno bruto regional y nacional, respectivamente. Cabe señalar que se puede emplear para el cálculo de los coeficientes  $LQ$ 's, en lugar de los valores de la producción, los niveles de empleo o los valores agregados. Con el fin de tener un referente de asignación más específico y "preciso", en mi opinión, se realizó el ejercicio para este criterio 2. En términos generales resulta en menores valores respecto al criterio 1, aunque las diferencias entre ambos criterios no son muy grandes, aproximadamente +/- 6 por ciento.

## 4. Factores ambientales para la asimilación de desechos

### 4.2 Desechos sólidos municipales

De acuerdo con nuestras estadísticas oficiales los residuos sólidos se clasifican según la fuente de generación en municipales, industriales y especiales. Los primeros son residuos sólidos que provienen de las actividades que se desarrollan en los asentamientos humanos tales como los servicios públicos y privados, comercio, construcciones y demoliciones y la generación directa de los hogares.

Las deficiencias que muestra la información disponible sobre generación de desechos sólidos es la misma, no está desagregada por sectores de la actividad económica del SCN, pero además, no se puede identificar los montos detallados que provienen de usos por demanda intermedia de las cantidades por usos de demanda final. La información se presenta de manera agregada como desechos sólidos municipales con la identificación, a lo sumo por tipos (Tabla 4.2-1); aunque con ello podemos conocer de forma gruesa el potencial para las actividades de reciclaje.

En general, se mantiene la observación sobre el deficiente sistema de información ambiental en México. Este es un resultado directo de que los programas de monitoreo y vigilancia, que deben incluir mediciones ambientales, funcionan de manera ineficiente y no hay una perspectiva sistemática y estratégica sobre la utilidad que pueden representar para la realización de estudios y evaluación del desempeño de las políticas ambientales en esta área. En consecuencia, tenemos un problema similar al enfrentado con los anteriores factores ambientales abordados: ¿cómo especificar criterios para realizar las asignaciones sectoriales y regionales?

Tipo de desecho	1992	...	1996	...	1998	Composición (en %, 1996)
1. Papel, cartón, productos de			4,496.7			0.1407
2. Textiles			476.2			0.0149
3. Plásticos			1,399.8			0.0438
4. Vidrios			1,885.6			0.0590
5. Metales*			926.8			0.0290
6. Basura orgánica**			16,746.7			0.5240
7. Otro tipo de basura***			6,027.5			0.1886
<b>Total</b>	<b>21,967.5</b>		<b>31,959.3</b>		<b>30550.5</b>	<b>1.0000</b>

Fuente: Cuadro III.6.1.1, INEGI-SEMARNAP (2000a), pp 527.

\*/ Ferrosos y no-ferrosos (cobre, plomo, estaño y níquel).

\*\*/ Basura de comida, jardines y materiales similares (orgánicos)

\*\*\*/ Residuos finos, hule, pañales desechables, etc.



#### 4.2.1 Procedimiento de asignación por sectores económicos: caso nacional

##### SECTOR PRIMARIO

Para los residuos sólidos municipales, todo el sector primario y la gran división II (minería e industrias extractivas) tienen asignación igual a cero porque su localización geográfica está fuera del alcance de los sistemas de recolección de basura municipales. Esto no implica de ninguna manera que su término de generación real sea cero, simplemente que no entra en la contabilización de este indicador estadístico.

##### SECTORES SECUNDARIO Y TERCIARIO

Con los registros oficiales se puede documentar una característica de la cifra principal: una proporción dominante de la generación de desechos sólidos tiene su origen en las actividades derivadas del consumo final de los hogares. Pero también, que no es despreciable el aporte de las actividades industrial y de servicios localizadas en los núcleos y áreas de influencia de zonas urbanas; en México, (+/-)  $\frac{3}{4}$  partes del producto se generan en éstas zonas.

Como la fuente de información no desagrega por origen de los desechos (reporta totales), se recupera un dato de la evidencia internacional de que alrededor del 15 a 20% del total de desechos sólidos producidos en áreas que concentran actividades económicas y población tienen su origen en sectores industrial y de servicios<sup>285</sup>. Aunque para el agregado nacional en México (1996) se realizó un ejercicio de aproximación rápido para estimar, con base en tasas anuales de generación per cápita entre 318 y 255 kg/habitante<sup>286</sup>, según el tamaño del asentamiento humano, que alrededor de tres cuartas partes del total de desechos sólidos municipales tienen un origen doméstico. Para realizar una primera desagregación entre usos intermedios y usos finales, se toma entonces el dato de un cuarto de la generación total corresponde a usos por demanda intermedia.

No es pertinente asignar en función de los niveles de actividad económica dado que los distintos sectores no generan proporcionalmente los tipos de desechos reportados. Por lo que haremos una identificación jerárquica inicial de asociar por similitud, industrias con tipos de desechos sólidos generados. Es decir, se establecen vínculos entre los desechos metálicos con la industria metalmecánica, residuos plásticos y de papel y cartón con las industrias respectivas, así como los desechos biodegradables a la de servicios (restaurantes y otros) y, de igual manera, los escombros de la demolición de edificios y construcciones con la industria de la

---

<sup>285</sup> Peavy H., Rowe D. and Tchobanoglous G., 1996. *Environmental Engineering*, McGraw-Hill.

<sup>286</sup> Véase Cuadro III.6.1.1, INEGI-Semarnap, 2000a: 527.

construcción, los cuales denominamos sectores *generadores fuertemente dominantes* (Tabla 4.2.1-1).

PASOS:

1) De la tabla 4.2-1 conocemos el total nacional de residuos sólidos generados para algunos años, extraemos el correspondiente al año de 1996 y lo repartimos entre usos intermedios (25%) y finales (75%), como se ha argumentado anteriormente (Tabla 4.2.1-2).

2) Conocido el vector-columna nacional por uso intermedio total (Tabla 4.2.1-2), para cada una de los siete tipos de desechos sólidos, éste se asigna con 75% a los sectores generadores dominantes y 25% para los sectores restantes; con ello se reconoce la generación desigual y concentrada sectorialmente. Dentro de cada uno de estos dos grupos la asignación se realiza en términos de la participación relativa de los niveles de actividad económica. Los resultados se presentan en la tabla 4.2.1-3.

#### *4.2.2 Procedimiento de reasignación por sectores económicos: caso regional*

##### SECTOR PRIMARIO

De igual manera para el caso de la RCM, los residuos sólidos municipales de todo el sector primario y la gran división II (minería e industrias extractivas) tienen asignación igual a cero porque su localización geográfica está fuera del ámbito de responsabilidad de los sistemas de recolección de basura municipales.

##### SECTORES SECUNDARIO Y TERCIARIO

PASOS:

1) De la tabla 4.2.2-1 extraemos los datos sobre generación de desechos desagregada por entidad federativa de la RCM para el año 2000, enseguida se estima la fracción regional de desechos sólidos municipales respecto del total nacional (0.373). Con este dato y conocido el total desechos generados en el país en 1996 (Tabla 4.2-1) se estima el monto total para la RCM equivalente a 11,917.4 ton/año, el cual se puede desagrega por entidad dado que se conocen sus participaciones relativas al total regional (véase Tabla 4.2.2-1).

2) Con la información desagregada por entidad, última columna de la tabla 4.2.2-1, y conocida la composición promedio nacional de los tipos de desechos, podemos estimar los flujos anuales para cada tipo y entidad de la RCM (Tabla 4.2.2-2).

3) Usando la el vector-fila correspondiente a la RCM estimamos ahora los usos intermedios y finales, como en el paso 1 del caso nacional (Tabla 4.2.2-3).

4) tomamos el vector de uso intermedio de la tabla anterior y se reparte entre los sectores económicos, como el paso 2 del caso nacional. En la tabla 4.2.2-4 se resumen estos resultados para la RCM.

El vector ambiental de generación de desechos sólidos municipales por usos intermedios y finales se presenta en la tabla 4.2.2-5. Mediante el uso de los coeficientes de intensidad de generación se estiman los vectores nacional y regional, para el año de 1985, con los mismos criterios de asignación ya descritos. Los resultados se presentan en la tabla 4.2.2-5.

### **4.3 Desechos peligrosos**

#### **4.3.1 Introducción al factor desechos peligrosos**

Por su naturaleza especial de representar un alto riesgo de daño<sup>287</sup> a la población en general, todos sus movimientos de manejo y disposición al medio ambiente deben ser conocidos y contabilizados con sumo detalle a lo largo de su ciclo completo: generación → confinamiento temporal → tratamiento y transporte → disposición final en sitios con especificaciones tecnológicas rigurosas (“cementeros”).

Por esta razón, su caracterización normativa debe ser lo más precisa posible; en México la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) define un residuo peligroso como “...todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente...”.

En México, en 1988 se publican las primeras disposiciones normativas que obligan a las empresas generadoras a su manifestación ante la autoridad competente. Pero es en 1993 que se publica la Norma Oficial Mexicana (NOM-052-ECOL-1993) que establece las características,

---

<sup>287</sup> No necesariamente letal, la gradualidad del nivel de riesgo depende de las condiciones de exposición a los materiales peligrosos.

el listado y los límites máximos permisibles, de los residuos que están clasificados como peligrosos para la población y el medio ambiente.

En consecuencia, no existen series históricas completas y confiables sobre la generación y los inventarios acumulados. Para este tipo de desechos este último indicador es crítico, pues la eficacia de cualquier medida de política ambiental en la materia depende, crucialmente, de la planeación (existencia anticipada de infraestructura) de sitios con especificaciones técnicas que cumplen usualmente con estándares internacionales.

Aunque en la década de los noventa la información ha mejorado significativamente, el problema de la sistematización y sectorialización, compatible con el SCN, es un tema aún pendiente, como el resto de los factores ambientales abordados en esta investigación. Una evidencia de ello, a pesar de las diferencias en los años de las referencias disponibles, se muestra en la siguiente tabla comparativa (Tabla 4.3.1-1) sobre el tamaño y las discrepancias del término-fuente o volumen total nacional de generación de residuos peligrosos<sup>288</sup>:

Referencias disponibles	Volumen nacional generado (en Millones de ton/año)
Matriz de generación de base (SEMARNAP-1996)	2.10
Encuesta voluntaria SEMARNAT (2000)	3.70
Inventario nacional (INE-1996)	8.00
Factores de intensidad de generación (California-USA)*	11.24
Factores de intensidad de generación (USA-NAL)*	28.82

Fuente: Elaboración propia.  
 \* Factores tomados de Estudio CESPEDS (2000xx), con ellos se realizó las estimaciones presentadas.

#### 4.3.2 Procedimiento de asignación por sectores económicos: casos nacional y regional

Nuestra información de base es un primer esfuerzo de las autoridades en la materia por contabilizar y sistematizar la generación nacional de residuos peligrosos<sup>289</sup> y la tabla-matriz 4.3.2-1 resume los valores para las tasas anuales por tipo de desecho y sector generador; el

<sup>288</sup> Cabe señalar que, con el fin de establecer otras referencias para la comparación de nuestro procedimiento, se ha realizado el ejercicio de estimar los flujos anuales de residuos peligrosos a nivel nacional aplicando, con su debida adaptación a nuestra clasificación sectorial disponible, los factores de intensidad de generación para la economía norteamericana y de la economía del estado de California (Estados Unidos), los resultados agregados son del órdenes de magnitud similares a los de CESPEDS, que son los que se muestran en la tabla 4.3.1-1: 28.8 y 11.2 millones de ton/año respectivamente. Aunque no será expuesto el ejercicio anterior, éste fue realizado con todo el detalle requerido para los dos niveles de desagregación espacial de esta investigación.

<sup>289</sup> Se trata de un análisis de las manifestaciones de generación de una muestra de 3000 empresas que el INE recibió entre 1989 y 1996 (Semarnap, INEGI, 2000<sup>a</sup>).

estimado total nacional fue de casi 2.1 millones de ton/año, de los cuales 77% se origina en el sector manufacturero.

Como se puede observar en dicha tabla, la desagregación sectorial se corresponde con las nueve grandes divisiones del SCN, y se presenta un sector etiquetado como “desconocido”, que para nuestra construcción lo tomaremos como la generación por usos de demanda final. También es de notar que el sector 3 (Manufacturas) se presenta totalmente agregado y parte del procedimiento que se propone incluirá la desagregación de esta gran división de tal manera que sea compatible con el resto de los vectores ambientales que se estiman. Esta será nuestra referencia de base para realizar nuestras estimaciones y ajustes para la RCM según el procedimiento que se detallará a continuación.

El planteamiento general del procedimiento considera los siguientes cuatro pasos:

- 1) Extracción de la tabla anterior el vector columna perteneciente a la GD-3 (sector manufacturero) en razón de que se dispone de información más confiable y desagregada para las nueve divisiones de este sector; de igual manera, se extrae el sector “desconocido” para asociarlo a los usos por demanda final.
- 2) “Regionalizar” la tabla-matriz base (sin GD-3), según los dos criterios expuestos para la sección de aguas residuales, con objeto de comparar las estimaciones.
- 3) “Reconstruir” de manera aislada la toda la GD-3 para los casos nacional y RCM.
- 4) Usar los coeficientes de intensidad de generación de California y USA para ubicar los órdenes de magnitud de los términos fuentes que estamos calculando.

El paso 1 es directo y sencillo. La regionalización de la tabla (paso 2) se realiza mediante el criterio 1, empleo de coeficientes de intensidad de generación, y el criterio 2, uso de coeficientes de localización; en ambos casos no se toma en consideración el sector manufacturero completo. Los resultados se presentan en las tablas 4.3.2-2A y 4.3.2-2B, como en el caso de las aguas residuales, las estimaciones con el criterio 1 son mayores (+/-) 38% respecto del criterio 2; las tasas anuales de generación total para la RCM fueron: 47,625 y 34,544 (ton/año) respectivamente<sup>290</sup>.

---

<sup>290</sup> Sin la extracción del sector de manufacturas las estimaciones siguen siendo mayores con el criterio 1 pero en 1.8% respecto del criterio 2, las tasas anuales de generación total para la RCM fueron: 753,490.16 y 740,409.95 (ton/año) respectivamente; la alta concentración industrial de la región se refleja ahora al representar la GD-3 un 95% de la generación total regional.

En el paso 3 se reconstruye de manera aislada el sector manufacturero desagregado. Con el auxilio de otras fuentes de información, particularmente, de la Encuesta Nacional Voluntaria a las empresas y de los informes de manifestación voluntaria de los generadores (Semarnap, 1999 y 2000). De estas fuentes obtenemos dos clases de datos básicos: 1) para el sector manufacturero agregado nacional, la contribución de cada una de las ramas manufactureras al total generado por el sector, es el dato más actualizado disponible (Tabla 4.3.2-3); y 2) el volumen total de desechos peligrosos generado por entidad federativa (Tabla 4.3.2-4).

Para la primera clase de datos se realiza una reclasificación compatible con los sectores del SCN, se ajustan los flujos a estos sectores y, posteriormente, se estiman las contribuciones relativas dentro del sector (Tabla 4.3.2-5).

Por ser un dato más confiable y actualizado<sup>291</sup>, se toma de la tabla 4.3.2-4 el total generado en la RCM para el año 2000 (1.32 mill. de ton/año), se relativiza para estimar el respectivo coeficiente de intensidad de generación que equivale a 2.23 (ton/millones \$ de 1993). A partir de este coeficiente se realiza el ajuste temporal del flujo anual generado en la región para el año 1996 resultando en 1.06 millones de ton/año. Con este monto total regional y las contribuciones relativas dentro del sector manufacturero (Tabla 4.3.2-5) se hace finalmente las asignaciones para éste sector, pero de la RCM (Tabla 4.3.2-6).

A continuación procede la reinserción de los vectores nacional y regional dentro de las tablas matrices ya estimadas sin el sector manufacturero. Dado el peso dominante que tiene este sector en la generación total, procede ahora su incorporación a las tablas iniciales, con ello es posible el ajuste temporal y espacial.

Como el monto total nacional para el sector manufacturero de la tabla 4.3.2-5 es 2.16 veces mayor que el dato que se considera más confiable reportado en la tabla 4.3.2-4 (véase pie de página al respecto), lo usamos para ajustar todo el sector manufacturero; equivale para el año 2000 a 3.7 millones de ton/año). Se procede a su relativización para estimar el respectivo coeficiente de intensidad de generación, que es igual a 2.51 (ton/mill. de \$ de 1993). Con este coeficiente se hace el ajuste temporal del flujo generado para el año 1996 resultando en 2.99 mill. de ton/año y la desagregación de su sector (Tabla 4.3.2-7).

#### GENERACIÓN POR USOS DE DEMANDA FINAL

---

<sup>291</sup> Se trata de la información más actualizada resultado de una muestra significativa de empresas que han entregado manifestaciones voluntarias de generación de desechos peligrosos, aproximadamente 11000 en la RCM y 28000 de todo el país. En la misma tabla 4.3.2-4 se incluyó una columna sobre la variación relativa de los últimos dos años para evidenciar como las cifras se han estabilizado, por lo que consideramos que el término fuente nacional para 1996 de la tabla 4.3.2-5 debe estar fuertemente sobrestimado, como se ha mencionado, se usa sólo para calcular las contribuciones relativas dentro de las manufacturas, pues es la única fuente disponible encontrada para la desagregación sectorial de la GD-3.

Se considera creíble suponer que el vector-columna 10 identificado como “desconocido” (Tabla 4.3.2-1) sea asignado totalmente a los usos por demanda final, en el agregado nacional, por las siguientes razones:

- 1) la lista de 10 tipos diferentes de residuos peligrosos<sup>292</sup> que se están considerando, muchos de ellos son también empleados directamente por agentes individuales, hogares y actividades que realizan micronegocios informales;
- 2) por deficiencias de las autoridades en el control del ciclo completo de origen-destino-disposición final; y
- 3) porque sus montos totales son significativos, representan 4.3% para el agregado nacional y 5.1% y para el regional, en orden jerárquico de importancia serían el tercero y el segundo generador respectivamente. Las fuentes son grandes masas de individuos, hogares y micronegocios “informales” con consumos relativamente bajos, pero el conjunto lo vuelve relevante.

Los pasos para la estimación de los flujos generados en la región por usos finales son ya conocidos también. Ahora se estiman coeficientes nacionales de intensidad de generación por tipo de desecho y, a partir de ellos, se hace el ajuste para la RCM, en las tablas 4.3.2-8 y 4.3.2-9 se presentan estos resultados. En ellas se muestran las áreas de la tabla-matriz cuyos valores de las celdas permanecerán desconocidos, aunque esto no impide la implementación de la metodología del modelo de I-O. Finalmente, la gran tabla-resumen donde se exponen los flujos anuales estimados para el agregado nacional y regional, desagregados por usos intermedios y finales, se presenta en la tabla 4.3.2-10.

Para estimar los vectores para el año de 1985 el procedimiento es similar al usado en la sección anterior sobre desechos sólidos municipales; para usos intermedios el ajuste se realiza mediante los PIB sectoriales y para uso final se hace con ajuste del tamaño de la población.

#### **4.4 Desechos gaseosos**

El tema relativo a las emisiones de gases contaminantes originados por los distintos sectores de las actividades de producción y consumo dentro de la región y del espacio nacional, serán excluidos de esta investigación porque:

---

<sup>292</sup> Listado de tipos de desechos peligrosos considerados en el procedimiento: 1) Disolventes, 2) Aceites gastados, 3) Líquidos residuales de proceso, 4) Sustancias corrosivas, 5) Lodos, 6) Sólidos, 7) Breas, 8) Escorias, 9) Medicamentos y 10) Biológico-infecciosos.

- 1) el medio receptor implica a un sistema atmosférico abierto;
  
- 2) el problema ambiental que se origina es de corte global, por lo que su pleno control rebasa el ámbito de cualquier delimitación espacial (jurídico-política); y
  
- 3) como la investigación se dirige a la fundamentación de responsabilidades distinguibles para los estados de una región, la contribución a la contención y solución de este problema global se reduce a la gestión por el lado del control de la fuentes de emisión e implica reforzar las capacidades institucionales de auditoria, vigilancia y monitoreo ambiental.



## Bibliografía General

### A

Adriaanse, A., Bringezu, S., Hamond, A., Moriguchi, Y., Rodenburg, E., Rogich, D., and Schütz, H. ; 1997. *Resource Flows: The Material Base of Industrial Economies* World Resource Institute, Washington.

Aguilar A.G., 1997. "La Ciudad de México en la Región Centro. Nuevas formas de la expansión metropolitana", en *Territorio y Cultura en la Ciudad de México*, Tomo I Transiciones, Delgado J. y Ramírez B. R. (coord.), Ed. Plaza y Valdés.

Alba F., 1999. "La cuestión regional y la integración internacional de México: una introducción"; *Estudios Sociológicos XVII*: 50, Colegio de México.

Alba F., 2003. "Tendencias de la desigualdad regional en México ante el TLC". En *Crecimiento con convergencia o divergencia en las regiones de México. Asimetría centro-periferia*. Coordinadores: Fuentes F. A., Díaz-Bautista y Martínez-Pellégrini S. E. Ed. Colegio de la Frontera Norte y Plaza y Valdés.

Albert E. and Steenge A.; 1999. "Input-output theory and institutional aspects of environmental policy"; *Structural Change and Economic Dynamics* 10, pp. 161–176.

Alcamo, J., R. Shaw, and L. Hordijk (eds.), 1990. *The Rains Model of Acidification: Science and Strategies in Europe*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Alcántara V. and Duarte R. , 2004. "Comparison of energy intensities in European Union countries. Results of a structural decomposition analysis", *Energy Policy* 32 pp 177-189.

Alcántara V. and Padilla E., 2003. "Key sectors in final energy consumption: an input-output application to Spanish case", *Energy Policy* 31 pp 1673-1678.

Alcántara, V., Roca, J., 1995. *Energy and CO2 emissions in Spain: methodology of analysis and some results for 1980–1990*. *Energy Economics*. 17, 221–230.

Amir S., 1989. "On the use of ecological prices and system-wide indicators derived therefrom to quantify man's impact on the ecosystem"; *Ecological Economics*, 1, págs. 203-231.

Ang B. W., 1999. "Decomposition methodology in energy demand and environmental analysis". In van den Bergh, J.C.J.M., 1999. *Handbook of Environmental and Resource Economics*. Edward Elgar; pp 1146-1163.

Aronsson, T., Johansson, P.O., and Löfgren, K.-G., 1997. *Welfare Measurement, Sustainability and Green National Accounting*. Cheltenham, U.K: Edward Elgar.

Arriaga, L. et. al., (2000), *Regiones Terrestres Prioritarias de México*. CONABIO.

Arrow K., Dasgupta P. and Mäler K. G., 2004. "Evaluating projects and assessing sustainable development in imperfect economies". En Dasgupta P. and Mäler K. G., *The Economics of Non-Convex Ecosystems*, Kluwer Academia Publishers.

Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C.S., Jansson, B.-O., Levin, S., Mäler K. G., Perrings, C. and Pimental, D. (1995), "Economic growth, carrying capacity and the environment", *Science*, Vol. 268, pp. 520-521.

Arroyo G. F., (2001), "Dinámica del PIB de las entidades federativas de México, 1980-1999",

Comercio Exterior, vol. 51, núm. 7, julio.

Asheim G. B., Buchholz W. and Tungodden B., 2001. "Justifying sustainability". *Journal of Environmental Economics and management* 41, 252-268.

Asheim G.B. and Weitzman M., 2001. "Does NNP growth indicate welfare improvement?". *Economics Letters* 73 (2001) 233–239.

Asheim Geir B., 2002. "Green national accounting for welfare and sustainability: A taxonomy of assumptions and results". Department of Economics University of Oslo. MEMORANDUM No 31/2002: <http://www.oekonomi.uio.no/memo/>.

Asheim, G.B. 2000. "Green national accounting: why and how?" *Environment and Development Economics* 5, pp. 25–48.

Asheim, G.B. and Weitzman, M., 2001. "Does NNP growth indicate welfare improvement?". *Economics Letters* 73, pp. 233–239.

Asheim, G.B., 2002. "Green national accounting with a changing population". University of Oslo (<http://folk.uio.no/gasheim/popcha03.pdf>).

Asuad N., 2000. "Propuesta de política regional y urbano nacional y para la Región Centro en el corto, mediano y largo plazo". Ponencia presentada en el XIII Congreso Nacional de Economistas. México, 9 de febrero.

Asuad N., 2001. *Economía regional y urbana: Introducción a las teorías, técnicas y metodologías básicas*. AEFE, BUAP y Colegio de Puebla A.C.

Ayres, R. U. & Kneese, A. V. 1969. "Production, consumption, and externalities", *American Economic Review*, 59, pp. 282-297.

## **B**

Banco Interamericano de Desarrollo, 2001. *Competitividad: el motor del crecimiento*, Washington D.C.

Baranzini M. and Scazzieri R., 1990. *The economic theory of structure and change*. Cambridge University Press.

Barbier, E.B. 1990., "Alternative approaches to economic-environmental interactions", *Ecological Economics*, Vol. 2, pp. 7-26.

Barbier, E.B. y A. Markandya, 1990. "The conditions for achieving environmentally sustainable growth". *European Economic Review*, 34: 659-69.

Barbier, E.B., 1993. *Economics and ecology. New frontiers and sustainable development*. Chapman and Hall.

Barbier, E.B., 1999. "Endogenous growth and natural resource scarcity". *Environmental and Resource Economics*, 14: 51-74.

Barro R. y Sala-i-Martin X., (1991), "Convergence across States and Regions", *Brookings Papers on Economic Activity*, núm. 1.

Barro R. y Sala-i-Martin X., (1995), *Economic Growth*, McGraw Hill.

Bartelmus, P., 1994. *Environment. Growth & Development: the Concept and Strategies of Sustainability*. Routledge, New York, p. 163.

Bataillón C., (1997), "En el corazón de la megalópolis, ciudad satélites", en *Territorio y Cultura en*

- la Ciudad de México, Tomo I Transiciones, Delgado J. y Ramírez B. R. (coord.), Ed. Plaza y Valdés.
- Baumgärtner, S., 2004. "The Inada conditions for material resource inputs reconsidered". *Environmental and Resource Economics* 29, 307– 322.
- Bergh J.C.J.M. and Gowdy J., 2000. *The Microfoundations of Macroeconomics*. TI 2000-021/3 Tinbergen Institute Discussion Paper. Disponible en <http://www.tinbergen.nl>.
- Bergh J.C.J.M., Verbruggen, H., 1999. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the 'ecological footprint'. *Ecological Economics* 29 (1), 61-72.
- Bergh JCJM. and Peter Nijkamp. *Advances in Environmental Economics: Analysis and Modelling*.
- Bergh y Nijkamp, 1997. "Growth, trade and sustainability in the spatial economy", *Studies in Regional Sciences*, 25 (2), 67-87.
- Bergh, J.C.J.M. and Straaten, J. (Eds) (1994), *Concepts Methods and Policy for Sustainable Development: Critique and New Approaches*, Island Press, Washington, DC.
- Bicknell, K. B., Ball, R. J., Cullen, R. & Bigsby, H. R. (1998) New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy, *Ecological Economics*, 27, pp. 149-160.
- Bimonte S. and Punzo L., 2005. Environmental policy options in the multi-regimen framework. In *New Tools of Economics Dynamics*, Leskow J., Puchet M. and Punzo L. (Eds.), Springer-Verlag.
- Binder C., Bader H., Scheidegger R. and Baccini P., 2001. "Dynamic models for managing durables using a stratified approach: the case of Tunja, Colombia". *Ecological Economics* 38, 191–207.
- Boulding, K. 1978. *Ecodynamics*. Sage. Beverly Hills.
- Boulding, K., 1966., "The economics of the coming spaceship earth". En Jarrett, H. (Ed.), *Environmental Quality in a Growing Economy*, Johns Hopkins Press, Baltimore, MD.
- Bringezu y Moll, 1998. "Coordination of Regional and National Material Flow Accounting for Environmental Sustainability: ConAccount". En *ConAccount Agenda: The Concerted Action on Material Flow Analysis and its Research & Development Agenda*. Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy; disponible en [www.ConAccount.net](http://www.ConAccount.net) .
- Bringezu, S. and Schütz, H. 2001a. Material use indicators for the European Union, 1980-1997. Economy-wide material flow accounts and balances and derived indicators of resource use, EUROSTAT Working Paper, No. 2/2001/B/2. Wuppertal Institute.
- Bringezu, S. and Schütz, H. 2001b. Total material requirement of the European Union, No. Technical Report No. 55. European Environmental Agency, Copenhagen.
- Bringezu, S. and Schütz, H. 2001c. Total material requirement of the European Union. Technical part, No. Technical Report No. 56. European Environmental Agency, Copenhagen.
- Bringezu, S. and Schütz, H. 2001d. Total material resource flows of the United Kingdom, Final report, No. EPG 1/8/62. Wuppertal Institute, Wuppertal.
- Brock W. A. and Starrett D., 2004. "Managing systems with non-convex positive feedback". En Dasgupta P. and Mäler K. G., *The Economics of Non-Convex Ecosystems*, Kluwer Academia Publishers.
- Brock, W.A., K.-G. Mäler, and C. Perrings (2002), 'Resilience and sustainability: the economic analysis of non-linear dynamic systems'. In L.H. Gunderson and C.S. Holling, *Panarchy*:

Understanding Transformations in Systems of Humans and Nature, Island Press, Washington D.C., pp. 261–291.

Bruyn S. M. and Opschoor J.B., 1997. “Developments in the throughput-income relationships: theoretical and empirical observations”. *Ecological Economics*, vol 20 pp 255-268.

Bruyn, S.M. de y R.J. Heintz, 1999. The environmental Kuznets curve hypothesis. En Bergh, J.C.J.M. van den (ed.): *Handbook of Environmental and Resource Economics*. Edward Elgar Pub. Ltd. Cheltenham, UK.: 656-677.

Bullard, C. W. and Herendeen, R. A. 1975. Energy impact of consumption decisions, *Proceedings of the IEEE*, 63, pp. 484-493.

Bullard, C., Herendeen, R., 1975. The energy costs of goods and services. *Energy Policy* 1 (4), 268-277.

## C

Carrillo H. M.A., 2001. “La teoría neoclásica de la convergencia y la realidad del desarrollo regional en México”, *Problemas del desarrollo*, vol. 32, núm.127, oct-dic., UNAM.

Castañeda S. A., 2002. “Electricity, highways and manufacturing growth: A cost based estimate”, *Economía Mexicana, Nueva Epoca, El CIDE*, vol. XI, num. 1.

CCE, 2000. México: Calidad del marco regulatorio en las entidades federativas mexicanas. Estudio comparativo.

CEPAL/GTZ, 2001. Desarrollo económico local y descentralización en América Latina: Análisis Comparativo; Aghón G. (coord.), Arburquerque F. y Cortés P. (comps.). <http://www.cepal.org/publicaciones.html>.

CESPEDES, 1998. Ciudad de México: Respirando el Futuro.

CESPEDES, 1999. Competitividad y Protección Ambiental: Iniciativa Estratégica del Sector Industrial Mexicano.

CESPEDES, 2000. Economía, Instituciones y Cambio Climático: Contexto y Bases para una Estrategia Mexicana.

CESPEDES, 2000. Incendios forestales y deforestación en México: *Una perspectiva analítica*, Consejo Coordinador Empresarial, México.

CESPEDES, 2001. Índice de Sustentabilidad Ambiental para las Entidades Federativas de México.

CESPEDES, 2001. *Infraestructura Ambiental: Necesidades, Alianza público/Privada*; Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable, Consejo Coordinador Empresarial.

CESPEDES, 2002. Bosques y biodiversidad en riesgo: ..., Consejo Coordinador Empresarial, México.

Chave J. and Levin S., 2004. “Scale and scaling in ecological and economic systems”. En Dasgupta P. and Mäler K. G., *The Economics of Non-Convex Ecoystems*, Kluwer Academia Publishers.

Christensen P. 1989; “Historical roots for ecological economics-biophysical versus allocative approaches”, *Ecological Economics*, vol 1 pp 17-36.

Cimoli M. 2000. *Developing Innovation Systems: México in a Global Context*, New York

Continuum.

Clark, C.W., and R.E. Munn (eds.), 1986. *Sustainable Development of the Biosphere*. Cambridge University Press, Cambridge.

CNA, (1995), Programa Hidráulico 1995-2000.

CNA, (1999), Compendio Básico del Agua en México.

Cohen A. J. and Harcourt G.C., 2003. "Retroperspectives: Whatever happened to the Cambridge capital theory controversies?". *Journal of Economic Perspectives*, vol. 17, No. 1, pp. 199-214.

Comisión Federal de Mejora Regulatoria, (2001), Programa de Mejora Regulatoria 2001-2006, México.

Common M., 1998. "Economics and the natural environment". *Journal of Economic Studies*, vol 25, no. 1, págs. 57-73.

Common, M. and C. Perrings (1992): Towards an Ecological Economics of Sustainability. *Ecological Economics*, 6(1):7-34.

Common, M. and C. Perrings, 1992. Towards an Ecological Economics of Sustainability. *Ecological Economics*, 6(1):7-34.

CONABIO, (1998), La Diversidad Biológica de México: Estudio del País. México.

Consejo Coordinador Empresarial, Calidad del Marco Regulatorio en las Entidades Federativas Mexicanas, México, DF: 1998-2000.

Constanza, R. 1991. Assuring sustainability of Ecological Economic Systems. En Constanza, R. (ed.): *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*. New York, Columbia University Press.: 331-343.

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., et al., 1997. "The value of the world's ecosystem services and natural capital". *Nature* 387, 253-260.

Crépin A.S., 2004. "Multiple species boreal forests –What Faustmann missed". En Dasgupta P. and Mäler K. G., *The Economics of Non-Convex Ecosystems*, Kluwer Academia Publishers.

Cumberland J., 1966. "A Regional interindustry model for analysis of development objectives". Papers of the Regional Science Association, 17, 65-94. En Ayres R., Button K. and Nijkamp P. (Eds.), 1999. *Global Aspects of the Environment, Vol II*. Edward Elgar.

## D

D'Arge, R.C. and Kogiku, K.C. (1972), "Economic growth and the environment", *Review of Economic Studies*, Vol. 40, pp. 61-78.

Daly, H. 1990. Toward some operational principles of sustainable development. *Ecological Economics*, vol.2 No. 1.

Daly, H. 1991. Elements of Environmental Macroeconomics. En Constanza, R. (ed.): *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*. New York, Columbia University Press.: 32-46.

Daly, H. 1994. "Operationalizing Sustainable Development by investing in natural capital". En Jansson, A.M; Hammer, M.; Folke, C. y R. Constanza (eds.): *Investing in Natural Capital: The Ecological Economics Approach to Sustainability*. New York. Columbia university Press.: 32-46.

Daly, H. E. 1968. On economics as a life science, *Journal of Political Economy*, 76, pp. 392-406.

- Daly, H. y J. Cobb 1989. *For the Common Good*. Boston, MA. Beacon Press. Edición en español de 1993. Fondo de Cultura Económica. México.
- Daly, H.E. (1968), "On economics as a life science", *Journal of Political Economy*, Vol. 76, pp. 392-406.
- Daly, H.E. 1973. "The steady state economy: toward a political economy of biophysical equilibrium and moral growth", in Daly, H.E. (Ed.), *Toward a Steady State Economy*, W.H. Freeman, San Francisco, CA.
- Daly, H.E., 1992. "Allocation, distribution, and scale: toward an economics that is efficient, just, and sustainable". *Ecol. Econ.* 6, 185–193.
- Dasgupta P. and Mäler K. G., 2004. "The Economics of Non-Convex Ecosystems: Introduction". En Dasgupta P. and Mäler K. G., *The Economics of Non-Convex Ecosystems*, Kluwer Academia Publishers.
- Dasgupta, P. and G. Heal, 1974. 'The Optimal Depletion of Exhaustible Resources', *Review of Economic Studies* 41 (Symposium on the Economics of Exhaustible Resources), 3–28.
- Dasgupta, P. and Mäler K.G. 2000. "Net national product, wealth and social well Being", *Environment and Development Economics*, 5(1-2), Special Issue, February and May: 69–94.
- Dasgupta, P. and Mäler K.G., 1991. „The Environment and emerging development issues". Proceedings of the Annual World Bank Conference on Development Economics, 1990 (Supplement to the World Bank Economic Review and the World Bank Research Observer), 101–132.
- Dávila F. A., 2002. "Matriz de insumo-producto de la economía de Coahuila e identificación de sus flujos intersectoriales más importantes", *Economía Mexicana Nueva Época*, vil. XI, núm.1, primer semestre.
- DDF, 1990. Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica (PICCA), un compromiso común.
- Delgado J., Larralde A. y Anzaldo C., (1997). "La corona regional de la Ciudad de México. Primer anillo exterior en formación", en *Territorio y Cultura en la Ciudad de México*, Tomo I Transiciones, Delgado J. y Ramírez B. R. (coord.), Ed. Plaza y Valdés.
- Delgado M.J. y Alvarez I., 2001, "Metodología para la elaboración de índices de equipamiento de infraestructura productiva", *Momento Económico*, Instituto de Investigaciones Económicas UNAM, núm. 117, sept-oct.
- Díaz-Bautista A. y Díaz M.; 2003."Convergencia y crecimiento considerando capital humano: la experiencia de México y sus comparaciones internacionales con Norteamérica y Europa". En *Crecimiento con convergencia o divergencia en las regiones de México. Asimetría centro-periferia*. Coordinadores: Fuentes F. A., Díaz-Bautista y Martínez-Pellégrini S. E. Ed. Colegio de la Frontera Norte y Plaza y Valdés.
- Díaz-Bautista A., 2003. "Un modelo de gravedad para el comercio internacional con ventajas comparativas y competitivas". En *Crecimiento con convergencia o divergencia en las regiones de México. Asimetría centro-periferia*. Coordinadores: Fuentes F. A., Díaz-Bautista y Martínez-Pellégrini S. E. Ed. Colegio de la Frontera Norte y Plaza y Valdés.
- Dietzenbacher E. 2005."Waste treatment in physical input–output analysis". *Ecological Economics* 55: 11–23.
- Dietzenbacher, E. & Los, B. 1998. Structural decomposition techniques: sense and sensitivity, *Economic Systems Research*, 10, pp. 307- 323.

- Dinda S., 2004. "Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey". *Ecological Economics* 49 (2004) 431–455.
- Dixit, A., Hammond, P., and Hoel, M., 1980. "On Hartwick's rule for regular maximin paths of capital accumulation and resource depletion". *Review of Economic Studies* 47, pp. 551–556.
- Dovers SR 1995. "A framework for scaling and framing policy problems in sustainability." *Ecological Economics* 12:93-106.
- Duchin F. and Steenge A., 1999. "Input-output analysis, technology and the environment" (Cap. 68). En Bergh van den JCJM (ed), *Handbook of Environmental and Resources Economics*. Edward Elgar.
- Duchin, F., Lange, G.-M., 1994. *The Future of the Environment: Ecological Economics and Technological Change*. Oxford University Press, New York.
- Duchin, F., Lange, G.-M., 1998. Prospects for the recycling of plastics in the United States. *Structural Change and Economic Dynamics* 9 (3), 307-331.
- Durán C. 2002. Desarrollo Empresarial: una comparación de México con América Latina y el Este Asiático Resultados del estudio de empresarialidad. Ponencia en el XIV Congreso Nacional de Economistas.
- Dussel P. E., 1997. La economía de la polarización: Teoría y evolución del cambio estructural de las manufacturas mexicanas (1988-1996); UNAM, Facultad de Economía / Jus.

## E

- Eccardi F. y Becerra R., 1997. "México: primer lugar mundial en diversidad de pinos" *Ocelotl*: 6, PRONATURA, México.
- Eder, P., Narodoslawsky, M., 1999. What environmental pressures are a region's industries responsible for? A method of analysis with descriptive indices and input\_/output models. *Ecological Economics* 29 (3), 359-374.
- Ekins P. and Simon S., 2003. An illustrative application of the CRITINC framework to the UK; *Ecological Economics*, 44, pp 255-275.
- England R. W., 1998. "Should we pursue measurement of the natural capital stock?". *Ecological Economics* 27; 257–266.
- England R. W., 2000. "Natural capital and the theory of economic growth". *Ecological Economics* 34; 425–431.
- Esquivel G., (1999), "Convergencia regional en México, 1940-1995", *El Trimestre Económico*, FCE, vol. LXVI(4), núm.264, sept-dic.
- European Environment Agency, 1999. *Environment in the European Union at the turn of the century*. EEA, Copenhagen.
- EUROSTAT 1999. *Toward environmental pressure indicators for the EU*. EUROSTAT, Luxemburg.
- EUROSTAT 1999. *Toward environmental pressure indicators for the EU*. EUROSTAT, Luxemburg.
- EUROSTAT, 2001. *Economy-wide material flow accounts and derived indicators. A Methodological Guide*. Statistical Office of the European Union, Luxembourg.

## F

- Faber, M., Manstetten, R. and Proops, J. 1996. *Ecological Economics: Concepts and Methods*, Edward Elgar, Cheltenham.
- FAO-IIASA, 1993. *Agro-Ecological Assessment for National Planning: The Example of Kenya*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAOSTAT, 1998. *Food Balance Sheets*. Food and Agricultural Organization, Rome, Italy.
- Faucheux S., Pearce D. y Proops J., 1996. *Models of Sustainable Development*. Edward Elgar.
- Faucheux, S. and O'Connor, M., eds. (1998). *Valuation for sustainable development: methods and policy indicators*. Edward Elgar, Cheltenham, Glos and Northampton, MA.
- Feltenstein A. y Ha J., (1995), "The role of infrastructure in mexican economic reform", World Bank Economic Review, núm. 9.
- Ferng, J.-J., 2001. Using composition of land multiplier to estimate ecological footprints associated with production activity. *Ecological Economics* 37 (2), 159–172.
- Fischer G. and Sun L., 2001. Model based analysis of future land-use development China; *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, pp 163-176.
- Fischer, G., Chen, Y., Sun, L., 1998. The Balance of Cultivated Land in China during 1988–1995, IR-98-047. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- Fischer, G., Zhao, Y.L.M., Sun, H., 1996. Land-Use Change in China: Land Resources and Contemporary Land Use. LUC project, internal working manuscript. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- Fischer-Kowalski, 1997. *Society's Metabolism -Origins and Development of the Material Flow Paradigm*; Publicado en: *Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability*, Proceedings of the workshop 21 -23 January, 1997 Leiden, The Netherlands. Stefan Bringezu Marina Fischer-Kowalski René Kleijn Viveka Palm (Editors).
- Fischer-Kowalski, M. 1998. Society's Metabolism. In *International Handbook of Environmental Sociology* (eds G. Redclift and G. Woodgate). Edward Elgar, Cheltenham.
- Forssell, O. & Polenske, K. R. (1998) Introduction: input-output and the environment, *Economic Systems Research*, 10, pp. 91-97.
- Førsund F.R. and Strøm S. 1976. The generation of residual flows in Norway: an input-output approach. *Journal of Environmental Economics and Management* 3, 129-141, 1976.
- Fuentes A. y Mendoza E., 2003. "Convergencia e infraestructura". En *Crecimiento con convergencia o divergencia en las regiones de México. Asimetría centro-periferia*. Coordinadores: Fuentes F. A., Díaz-Bautista y Martínez-Pellégrini S. E. Ed. Colegio de la Frontera Norte y Plaza y Valdés.
- Fuentes A., Díaz-Bautista A. y Rodríguez A., 2003. "Modelos de convergencia y divergencia y su evidencia empírica". En *Crecimiento con convergencia o divergencia en las regiones de México. Asimetría centro-periferia*. Coordinadores: Fuentes F. A., Díaz-Bautista y Martínez-Pellégrini S. E. Ed. Colegio de la Frontera Norte y Plaza y Valdés.
- Fuentes A., Lugo S. y Herrera M., 2004. "Matriz de Insumo-Producto para baja California: Un enfoque híbrido". Ed. Miguel Ángel Porrúa y Universidad Autónoma de Baja California.
- Fuentes F. A., Díaz-Bautista y Martínez-Pellégrini S. E., 2003. *Crecimiento con convergencia o*



*divergencia en las regiones de México. Asimetría centro-periferia*. Ed. Colegio de la Frontera Norte y Plaza y Valdés.

Fuentes N.A. y Sastré M., 2001. "Evaluación de la congruencia entre economía y gobierno en torno al desarrollo regional de Baja California Sur, México"; *Problemas del Desarrollo*, vol. 32, núm. 125, julio-septiembre, IIEc-UNAM.

## G

Galletti, H., (2002). "Economía Forestal, Deforestación y Libre Comercio en el Sureste de Mexicano", en CESPEDES. Deforestación en México, Causas Económicas; Incidencia del Comercio Internacional.

Garza G. "Tendencias de las desigualdades urbanas y regionales en México, 1970-1996", Estudios Demográficos y Urbanos, vol. 4, núm. 2, El Colegio de México.

Georgescu-Roegen, N. 1971. *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press, Cambridge, MA.

Georgescu-Roegen, N. 1979. "Energy analysis and economic valuation", *Southern Economic Journal*, Vol. 45, pp. 1023-58. En Ayres R. U., Button K. and Nijkamp P., *Global Aspects of the Environment*, vol I. Edward Elgar Publishing (1999).

Giampietro, M., 1994. "Sustainability and technological development in agriculture: a critical appraisal of genetic engineering". *BioScience* 44 (10), 677-689.

Gibson C.C., Ostrom E. y Ahn T. K., 2000. "The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey". *Ecological Economics* 32, 217-239.

Giljum S., Hubacek K., Sun L. 2004. Beyond the simple material balance: a reply to Sangwon Suh's note on physical input-output analysis. *Ecological Economics* 48, 19-22

Giljum, S., Hubacek, K., 2001. International trade, material flows and land use: developing a physical trade balance for the European Union. Interim Report. No. 01-059. IIASA, Laxenburg.

Giner de los Ríos 1997. "Los instrumentos económicos y la regulación ambiental en México". En *Economía Ambiental: Lecciones de América Latina*, INE-SEMARNAP.

González-Dávila (2004). "Medio ambiente y desarrollo sustentable: una historia de reencuentros y búsquedas", Rev. Economía Informa, No. 328, julio-agosto, Fac. Economía-UNAM.

Gravgaard Pederson, O., 1999. Physical input-output tables for Denmark. Products and Materials 1990. Air Emissions 1990-92. Statistics Denmark, Copenhagen.

Guadarrama J. y Olivera G., 2001. "Desaceleración, crisis, reactivación y recesión industrial de la región Centro de México. Un largo ciclo de reestructuración del núcleo y la periferia"; *Revista Eure*, vol. XXVII, núm 82, diciembre, Chile.

## H

Hamilton, K., 1994. "Green adjustments to GDP". *Resources Policy* 20, pp. 155-168.

Hannon B., 1997. "The use of analogy in biology and economics From biology to economics, and back". *Structural Change and Economic Dynamics* 8; 471-488.

Hanson H. G., 1994. "Localization Economies, Vertical Organization and Trade", NBER, Working Paper Núm. 4744.

Harcourt G.C., 1969. "Some Cambridge controversies in the theory of capital". *Journal of*

*Economic Literature*, vol. 7, No. 2, pp. 369-405.

Hartwick, J., 1990. "National resources, national accounting, and economic depreciation". *Journal of Public Economics* 43, 291–304.

Hartwick, J.M., 1977. "Intergenerational equity and investing rents from exhaustible resources". *American Economic Review* 66, pp. 972–974.

Heijungs R., 2001. *A Theory of the Environment and Economic Systems. A Unified Framework for Ecological Economic Analysis and Decision-Support*. Edward Elgar.

Herendeen, R.A., 2000. Ecological footprint is a vivid indicator of indirect effects. *Ecological Economics*. 32, 357–358.

Hicks, J. (1946), *Value and Capital*. 2nd edition. Oxford: Oxford University Press.

Hoekstra R. and Bergh J. C.J.M. van den, 2006. "Constructing physical input–output tables for environmental modeling and accounting: Framework and illustrations". *Ecological Economics* (in press), accepted 9 November 2005.

Hoekstra R. and van der Bergh J.C.J.M., 2000. "Comparing and expanding SDA and INA techniques applied to physical flows in the economy", 13th International Conference on Input-Output Techniques; 21-25 August Macerata, Italy. Disponible en sitio de International Input-Output Association (IIOA).

Hoekstra R. and van der Bergh J.C.J.M., 2002. "Structural Decomposition Analysis of Physical Flows in the Economy", *Environmental and Resource Economics* 23: 357-378.

Hoekstra R. and van der Bergh J.C.J.M., 2002. "Structural Decomposition Analysis of Physical Flows in the Economy", *Environmental and Resource Economics* 23: 357-378.

Holling, C. S. 1973. "Resilience and stability of ecological systems". *Annual Review Ecology and Systematics* 4: 1–23.

Holling, C., 1973. "Resilience and stability of ecological systems". *Annual Review of Ecology and Systematics* 4, 1}23.

Holling, C., Schindler, D., Walker, B., Roughgarden, J., 1995. "Biodiversity in the functioning of ecosystems: An ecological synthesis". En: Perrings, C., Mäler, K.-G., Folke, C., Holling, C., Jansson, B.-O. (Eds.), *Biodiversity Loss: Economic and Ecological Issues*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 44-83.

Hubacek K. and Sun, 1999. *Land use change in China: A scenario Analysis based on Input-Output Modeling*, IR-99-073, International Institute for Applied Systems Analysis.

Hubacek K. and Sun, 2000. *Land use change at the National and Regional Level in China: A scenario Analysis based on Input-Output Modeling*, IR-00-053, International Institute for Applied Systems Analysis.

Hubacek K. and Vazquez J., 2002. *The Economics of Land Use Change*. IIASA IR-02-015. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.

Hubacek, K., Giljum, S., 2003. Applying physical input – output analysis to estimate land appropriation (ecological footprints) of international trade activities. *Ecological Economics* 44 (1), 137– 151.

Hubacek, K., Sun, L., 2001. A scenario analysis of China's land use and land cover change: incorporating biophysical information into input-output modeling. *Structural Change and Economic Dynamics* 12 (4), 367-397.

Huppes G. 2001. "Current state of development in environmentally extended international input-output table". European Network of Environmental Input-Output análisis. 1<sup>st</sup> Meeting 8 may 2001, Madrid Spain.

Hyde, W. Amacher, G. and Magrath, W., 1996. "Deforestation and Forest Land Use: Theory, Evidence and Policy Implications" en *The World Bank Research Observer*. núm. 2 vol. 11. Agosto.

INE- INEGI., 1996. Uso de Suelo y Vegetación. México.

INE, 1996. Programa de Áreas Naturales Protegidas. México.

INE, 1996. Programa Nacional de Medio Ambiente 1995-2000.

INE, 1996. Programa para la Minimización y Manejo Integral de Residuos Industriales Peligrosos en México 1996-2000.

INE, 1996. Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000.

INE, 1997. Programa de Conservación de Vida Silvestre y Diversificación Productiva en el Sector Rural. México.

INE, 1999. Inventario Nacional de Emisiones de Efecto de Invernadero con Cifras de 1990. Dirección de Cambio Climático. Dirección General de Regulación Ambiental.

INE, 2000. Calidad del Aire en Cinco Ciudades Mexicanas: Ciudad Juárez, Guadalajara, Monterrey, Valle de Toluca y Valle de México.

INE, 2000. Evaluación del desempeño ambiental: Reporte 2000, México.

INEGI, 1991. VI Censo Agrícola, Ganadero y Ejidal. Resultados Definitivos. México.

INEGI, 1994. Información Estadística y Geográfica Municipal. CIMA. México.

INEGI, 1995. Censos Económicos 1994. Resultados Definitivos. México.

INEGI, 1996. Censo de Población y Vivienda. Resultados Definitivos. México.

INEGI, 1999. Estadísticas del Medio Ambiente. Tomo I.

INEGI, 1999. Sistema de Cuentas Nacionales.

INEGI, 2000. XII Censo de Población y Vivienda. Resultados Definitivos, México.

INEGI, Varios años, Sistema de Información Municipal. México.

INEGI-SEMARNAP, 1997. Estadísticas del Medio Ambiente, México.

INEGI-SEMARNAP, 2000a. *Estadísticas del Medio Ambiente, México, Tomo I: Informe de la situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 1997-1998.*

INEGI-SEMARNAP, 2000b. *Estadísticas del Medio Ambiente, México, Tomo II: Informe de la situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 1997-1998.*

INEGI-UNAM, 2001. Inventario Forestal Nacional 2000. México.

INIFAP-CONABIO, 1995. Mapa Edafológico. México.

International Organisation for Standardisation, 1996. *Guidelines for environmental auditing—Audit procedures —Auditing of environmental management systems.* International Standard 14011.

Geneva, Switzerland: International Organisation for Standardisation (ISO).

Isard, W., Bassett, K., Choguill, C., Furtado, J., Izumita, R., Kissin, J., Romano E., Seyfarth, R. & Tatlock, R. 1967. On the linkage of socio-economic and ecologic systems, *Papers and Proceedings of the Regional Science Association*, 21, pp. 79-99. En *Input-Output Analysis Vol. II*, Ed. Kurz H. D. , Dietsenbacher E. and Langer C. Edward Elgar (1998).

## J

Jansson, A.M., Hammer, M., Folke, C. and Costanza, R. (Eds) 1994. *Investing in Natural Capital: The Ecological Economics Approach to Sustainability*, Island Press, Washington, DC.

Jiun-Jiun Ferng J., 2001. "Using composition of land multiplier to estimate ecological footprints associated with production activity"; *Ecological Economics* 37, pp 159–172.

## K

Kneese, A.V., Ayres, R.U., d'Arge, R.C., 1970. *Economics and the Environment: a Material Balance Approach*. John Hopkins Press, Baltimore and London.

Konijn, P., de Boer, S., van Dalen, J., 1997. Input-output analysis of material flows with applications to iron, steel and zinc. *Structural Change and Economic Dynamics* 8 (1), 129-153.

Konijn, P.J.A., de Boer, S., van Dalen, J., 1995. Material flows and input-output analysis. Methodological description and empirical results. Statistics Netherlands, Voorburg.

Kornai J., 1971. *Anti-Equilibrium: On economic systems theory and the tasks of research*. North-Holland Publishing Company.

Kornai J. y Martos B., 1981. *Non-price control*. North-Holland Publishing Company.

Krotscheck, C., Narodoslawsky, M., 1996. The sustainable process index. a new dimension in ecological evaluation. *Ecological Engineering* 4 (6), 241-258.

Krugman P., 1991. *Geografía y Comercio*, Ed. Antoni Bosh, Barcelona.

Krugman P., 1994. "Competitiveness: a Dangerous Obsession", *Foreign Affairs*, vol.74, núm. 2.

Krugman P., 1996. "Making sense of the Competitiveness Debate", *Oxford Review of Economic Policy*, vol.12, núm. 3.

Krysiak F. 2005. "Entropy, limits to growth, and the prospects for weak sustainability". *Ecological Economics* (in press) , accepted 6 July 2005.

## L

Lange, G.-M. 1998. Applying an integrated natural resource accounts and input-output model to development planning in Indonesia, *Economic Systems Research*, 10, pp. 113-134.

Lave, L. B., Cobas-Flores, E., Hendrickson, C. T. & McMichael, F. C. 1995. Using input-output analysis to estimate economy-wide discharges, *Environmental Science and Technology*, 29, pp. 420A-426A.

Lenzen M, Murray SA 2001. A modified ecological footprint method and its application to Australia. *Ecological Economics* 2001;37(2):229– 55.

Lenzen M. 2001. A generalized input–output multiplier calculus for Australia. *Economic Systems Research*;13(1):65– 92.

Lenzen M. *et al.*, 2003. Environmental impact assessment including indirect effects—a case study using input–output analysis; *Environmental Impact Assessment Review*, 23, pp. 263–282.

Lenzen, M. 1998. Primary energy and greenhouse gases embodied in Australian final consumption: an input-output analysis, *Energy Policy*, 26, pp. 495-506.

León Arias A., 2003. “Análisis de convergencia en productividad entre las manufacturas urbanas mexicanas, 1975-1993”. En *Crecimiento con convergencia o divergencia en las regiones de México. Asimetría centro-periferia*. Coordinadores: Fuentes F. A., Díaz-Bautista y Martínez-Pellégrini S. E. Ed. Colegio de la Frontera Norte y Plaza y Valdés.

Leontief W. and Ford D. 1972. Air pollution and the economic structure: empirical results of input-output computations. In: *Input-Output Techniques* (p.9-30). eds. A. Brody and A. P. Carter, North Holland Publishing Company.

Leontief, W. & Ford, D., 1970. Environmental repercussions and the economic structure: an input-output approach, *Review of Economics and Statistics*, 52, pp. 262-271.

Leontief, W. 1941. *The Structure of the American Economy, 1919-1939*. Oxford, UK, Oxford University Press.

Leontief, W., 1936. Quantitative input-output relations in the economic system. *Review of Economic Statistics* 18, 105-125.

Leontief, W., 1986. *Input-output Economics*. Oxford University Press, Oxford.

Levin *et al.*, 1998; Resilience in natural and socio-economic systems, *Environment and Development Economics* 3, pp 222-235.

Levin S., Barrett S., Aniyar S., Baumol W., Bliss C., Bolin B., Dasgupta P., Ehrlich P., Folke C., Gren I.-M., Holling C.S. Janson B.-O., Mäler K.G., Martin D., Perrings C., and Sheshinsky E., 1998. “Resilience in natural and socioeconomic systems”, *Environment and Development Economic* 3(2), pàgs. 222-235.

Levin SA 1992. “The problem of pattern and scale in ecology.” *Ecology* 73:1943-1967.

## M

Machado, G., Schaeffer, R., Worrell, E., 2001. Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil: an input-output approach. *Ecological Economics* 39 (3), 409-424.

Mäler K. G., Xepapadeas A. and Zeeuw A., 2004. “The Economics of shallow lakes”. En Dasgupta P. and Mäler K. G., *The Economics of Non-Convex Ecosystems*, Kluwer Academia Publishers.

Mäler, K. G. 1974. *Environmental Economics: A Theoretical Inquiry*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.

Mäler, K.G. 1991. “National accounts and environmental resources”. *Environmental and Resource Economics*, 1(1): 1–15.

Mäler, K.-G., A. Xepapadeas, and A. de Zeeuw 2003. ‘The economics of shallow lakes’, *Environmental and Resource Economics* 26(4): 603–624.

Mäler, K.-G., Perrings, C., 1997. *Resilience in Natural and Socioeconomic Systems*. Beijer Discussion Papers. Beijer Institute.

Martinez-Alier, J. (1987), *Ecological Economics*, Blackwell, Oxford.

Martínez-Pellégrini S., 2003. “Convergencia regional e integración: los casos de México y

España". En *Crecimiento con convergencia o divergencia en las regiones de México. Asimetría centro-periferia*. Coordinadores: Fuentes F. A., Díaz-Bautista y Martínez-Pellégrini S. E. Ed. Colegio de la Frontera Norte y Plaza y Valdés.

Matthews, E., Bringezu, S., Fischer-Kowalski, M., Huetler, W., Kleijn, R., Moriguchi, Y., Ottke, C., Rodenburg, E., Rogich, D., Schandl, H., Schuetz, H., van der Voet, E., and Weisz, H.; 2000. *The weight of nations. Material outflows from industrial economies* World Resources Institute, Washington.

Meentemeyer V (1989) "Geographical perspectives of space, time, and scale." *Landscape Ecology* 3:163-173.

Mendoza E. y Martínez G, 1999a. "Un modelo de externalidades para el crecimiento manufacturero regional", *Estudios Económicos*, El Colegio de México, vol. 14, núm. 2.

Mendoza E. y Martínez G, 1999b. "Globalización y dinámica industrial en la frontera norte de México", *Comercio Exterior*, vol. 49, núm. 9, sept.

Mendoza E. y Matínez G., 2003. "Economías externas y dinámica manufacturera regional en México". En *Crecimiento con convergencia o divergencia en las regiones de México. Asimetría centro-periferia*. Coordinadores: Fuentes F. A., Díaz-Bautista y Martínez-Pellégrini S. E. Ed. Colegio de la Frontera Norte y Plaza y Valdés.

Mendoza E., 2002. "Agglomeration economies and urban manufacturing growth in the northern border cities of México", *Economía Mexicana Nueva Época*, El CIDE, vol. XI, núm. 1, Primer semestre.

Meyer-Stamer J., 2000a. "Estrategias de desarrollo local y regional: Clusters, Política de Localización y competitividad sistémica". *Revista Mercado de Valores*, septiembre. NAFINSA, México.

Meyer-Stamer J., 2000b. "Estrategias de desarrollo Territorial Basadas en el Concepto de Competitividad Sistémica". *Revista Mercado de Valores*, septiembre. NAFINSA, México.

Meyer-Stamer J., et al. 1996. "Competitividad sistémica: nuevo desafío para las empresas y la política". *Revista CEPAL* No. 59, agosto.

Miller, R. E. & Blair, P. D. 1985. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*; Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.

Muradian R., 2001; Ecological thresholds: a survey. *Ecological Economics*, 38, pp 7-24.

## N

Nakamura, S., Kondo, Y., 2002. Input-output analysis of waste management. *Journal of Industrial Ecology* 6 (1), 39– 63.

Nelson R. and Winter S., 1973. "Toward an evolutionary theory of economic capabilities"; *American Economic Review*, may, 63, pp. 440-49.

Nelson R. and Winter S., 1974. "Neoclassical vs. evolutionary theory of economic growth; Critique and prospectus"; *Economic Journal*, December, 84:336, pp.886-905.

Nelson R. and Winter S., 1982. *An evolutionary theory of economic change*; Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Nelson R. and Winter S., 2002. "Evolutionary theorizing in economics"; *The Journal of Economic Perspectives*, vol.16, No. 2, pp.23-46.

Nordhaus W. 1992. *The ecology of markets*. Industrial Ecology Colloquim, at the National Academy of Sciences, Washington, DC; Cowles Foundation Paper 808, Vol. 89, February, pp. 843-850.

Norgaard, R. B. , 1984. "Coevolutionary agricultural development". *Economic Development and Cultural Change*, 32, 3: 525-546.

## O

O'Connor M. 2000. *The Integrity of the Terroir: An Appraisal of the state of France's Critical Natural Capital*; Report to the international research project CRITINC, "Making Sustainability Operational: Critical Natural Capital and the Implication of a Strong Sustainability Criterion". Disponible en <http://www.c3ed.uvsq.fr/Critinceng/CRITINCdessin.html>.

OECD 2001: *OECD Environmental Outlook 2025*. OCDE Paris.

OECD 1994. Environmental Indicators, Core Set. OECD, Paris.

OECD 2000. *Special Session on Material Flow Accounting. History and Overview*. OECD, Paris.

OECD, 1997. *Regional development and structural policy in México*, París, Organisation for Economic Cooperation and Development.

Olivera G. y Guadarrama J., 2002. "El Ciclo de restructuración industrial y territorial de la región Centro de México"; en Delgadillo e Irracheta, 2002.

O'Neill RV, Johnson AR King AW 1989. "A hierarchical framework for the analysis of scale." *Landscape Ecology* 3:193-205.

Opschoor J. B. 1995. "Ecospace and the fall and rise of throughput intensity". *Ecological Economics*, vol 15 pp 137-141.

Opschoor, H. y L. Reijnders 1991. "Towards sustainable development indicators". En Kuik, O. y H. Verbruggen (eds.): *In search of Indicators of Sustainable Development*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands: 7-27.

Osuna C. G., 1990. "Dinámica de la desigualdad regional en México, 1970-80", Estudios Demográficos y Urbanos, vol. 5, núm. 1, El Colegio de México.

## P

Pearce, D.W. and Atkinson G. D., 1995. "Measuring sustainable Development". En Bromley, D. (ed.): *Handbook of Environmental Economics*. Oxford. Blackwell. Pags. 166-181.

Pearce, D.W. and Atkinson G.D., 1993. "Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of weak sustainability". *Ecological Economics*, 8 (2):103-108.

Perk J., Chiesura A. and Groot de R., 2000. *Towards a Conceptual Framework to identify and operationalise Critical Natural Capital (Working Paper 1B)*; discussion paper for second meeting of the CRITINC-project; 30/11 – 1/12, 1998, Saint Quentin en Yvelines, Paris, France. Disponible en <http://www.c3ed.uvsq.fr/Critinceng/CRITINCdessin.html>.

Perrings C., 1986. "Conservation of Mass and Instability in a Dynamic Economy-Environment System". *Journal of Environmental Economics and Management* 13: 199-211.

Perrings C., 1997. *Economics of Ecological Resources*. New Horizons in environmental economics, Edward Elgar.

Perrings C., 1997b. "Ecological sustainability and environmental control". En Perrings (ed.)

*Economics of ecological resources: Selected Essays*. Edward elgar.

Perrings, C. 1987. *Economy and environment; A theoretical essay on the interdependence of economic and environmental systems*. Cambridge University Press. Cambridge.

Perrings, C. 1987. *Economy and environment; A theoretical essay on the interdependence of economic and environmental systems*. Cambridge University Press. Cambridge.

Perrings, C., 1991. "Reserved rationality and the precautionary principle: Technological change, time and uncertainty in environmental decision making". En Constanza, R. (ed.) *Ecological Economics, The Science and Management of Sustainability*. New York. Columbia University Press.: 153-166.

Perrings, C., 2002. *Lessons form ecology*. Discussion paper presented at the symposium on ecological economics, World Congress of environmental and resource economist, Monterey, june 2002. Disponible en sitio de C. Perrings: www....

Perrings, C., 2006. "Resilience and sustainable development". *Environment and Development Economics* 11: 417-427.

Perrings, C.; C. Folke; K.G. Mäler; C.S. Holling y B-O. Jansson 1995. *Biodiversity loss: Ecological and economic issues*. Cambridge University Press. Cambridge.

Peterson G., Allen C. R., y Holling C. S., 1998. "Ecological Resilience, Biodiversity, and Scale". *Ecosystems* 1: págs. 6-18.

Pimm, S.L. 1984. "The complexity and stability of ecosystems". *Nature* 307: 321-326.

Presidencia de la República, Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006, 2001. Programas Hidrológicos Regionales, 2000-2006, CNA (Regiones Administrativas IV, VIII, IX, X y XIII).

Proops J., Atkinson G, Frhr. v. Schlotheim B, Simon S. 1999. International trade and the sustainability footprint: a practical criterion for its assessment. *Ecological Economics* 28(1):75-97.

Proops, J., 1977. 'Input-output analysis and energy intensities: a comparison of methodologies'. *Applied Mathematical Modelling* 1: 181-186.

Proops, J., 1988. Energy intensities, input-output análisis and economic development. In: Ciaschini, M. (Ed.), *Input-output Analysis: Current Developments*. Chapman & Hall, London.

Proops, J.L.R., Faber, M.,Wagenhals, G., 1993. *Reducing CO2 Emissions: A Comparative input-output Study for Germany and the UK*. Springer Verlag, Berlin.

Proops, J.L.R., Gay, P., Speck, S., Schröder, T., 1996. The lifetime pollution implications of various types of electricity generation. *Energy Policy* 24 (3), 229-237.

Provencio E., 1997. "Oportunidades de integración de instrumentos y políticas en la planeación ambiental". En *Economía Ambiental: Lecciones de América Latina*, INE-SEMARNAP.

Puchet M., 1994. *Sistemas contables y bases analíticas de modelos de regulación para economías abiertas y semiindustrializadas*. Tesis de Doctor en economía, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Economía, UNAM.

Pulido A. Fontela E., 1993. *Análisis Input-Output (Modelos, datos y aplicaciones)*. Ed. Pirámide, Madrid.

## Q

Quadri de la Torre G., 1997. "Teoría y práctica en política ambiental y uso de instrumentos



económicos". En *Economía Ambiental: Lecciones de América Latina*, INE-SEMARNAP.

Quah D. T., (1999), *Twin Peaks: Growth and Convergence in Models of Distribution Dynamics*, Paper Series, núm. 1355, Center Economic Policy Research, London School of Economics, London.

## R

Randers y Meadows, 1973. "The carrying capacity of our global environment: a look at ethical alternatives". En Daly H. (ed.) *Toward a Steady State Economy*. W. H. Freeman.

Rees, W., Wackernagel, M., 1992. *Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: Measuring the Natural Capital Requirements of the Human Economy*. Second Meeting of the International Society for Ecological Economics, Stockholm.

Rodrigues J., Domingos T., Giljum S. and Schneider F. 2006. "Designing an indicator of environmental responsibility". *Ecological Economics* 59, 256-266.

Rodríguez J. A., 2003. "El modelo neoclásico y la convergencia entre entidades federativas de México: periodo 1975-1993". En *Crecimiento con convergencia o divergencia en las regiones de México. Asimetría centro-periferia*. Coordinadores: Fuentes F. A., Díaz-Bautista y Martínez-Pellégrini S. E. Ed. Colegio de la Frontera Norte y Plaza y Valdés.

Rose A., 1999. "Input-Output structural decomposition analysis of energy and the environment" (Cap. 75). En Bergh J. C.J.M. *Handbook of Environmental and Resource Economics*, Edward Elgar.

Rossiter D. G., 1994. Lecture Notes: "Land Evaluation", Cornell University College of Agriculture and Life Sciences, Department of Soil, Crop, and Atmospheric Sciences (August 1994). Disponible en [//www.scas.cit.cornell.edu/landeval/le\\_notes/](http://www.scas.cit.cornell.edu/landeval/le_notes/).

Ruiz Chiapetto C., (1998), "Desigualdades regionales en México, 1900-1993", *Estudios Demográficos y Urbanos*, vol. 5, núm. 1, El Colegio de México.

## S

Scholes R. J., 2004. "Convex relationships in ecosystems containing mixtures of trees and grass". En Dasgupta P. and Mäler K. G., *The Economics of Non-Convex Ecosystems*, Kluwer Academia Publishers.

SEMARNAP, 1996. Programa para el Desarrollo Forestal. México.

SEMARNAT, 2002. Reporte Anual 2001, México.

Shone R. 1997. *Economic Dynamics*, Cambridge University Press; págs. 209-216.

Siebert, H., 1985. Spatial aspects of environmental economics. In: A.V. Kneese and J.L. Sweeney (eds.), *Handbook of Natural Resource and Energy Economics*, vol. 1. North-Holland, Amsterdam.

Siebert, H., 1987. *Economics of the Environment: Theory and Policy*, 2nd ed. Springer-Verlag.

SMA-DF., 2000. Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, 1998.

Sobrinho J., 2002. "Competitividad y ventajas competitivas: revisión teórica y ejercicio de aplicación a 30 ciudades de México", *Estudios Demográficos y Urbanos*, El Colegio de México, vol. 17, núm. 2.

Solow, R.M. 1974. "Intergenerational equity and exhaustible resources". *Review of Economic Studies*. Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, vol 41. Edinburgh. Longman.

29-45.

Solow, R.M. 1986. On the intertemporal allocation of natural resources. *Scandinavian Journal of Economics*, 88: 141-49.

Solow, R.M. 1993. An almost practical step toward sustainability. *Resources Policy*, 19 (30): 162-72.

Spangenberg, J. and Bonnoit, O. 1998. Sustainability Indicators - A Compass on the Road towards Sustainability, Wuppertal Paper, No. 81, February 1998, Wuppertal.

Spangenberg, J., Femia, A., Hinterberger, F., and Schütz, H. 1998. *Material Flow-based Indicators in Environmental Reporting*, Environmental Issues Series, No. 14. European Environmental Agency, Luxembourg.

Stahmer, C., Kuhn, M., and Braun, N. 1996. *Physical Input-Output Tables. German Experiences*, London Group Meeting on Environmental Accounting, Stockholm.

Stiglitz, J. (1974), 'Growth with Exhaustible Natural Resources: Efficient and Optimal Growth Paths', *Review of Economic Studies* 41 (Symposium on the Economics of Exhaustible Resources), 123–152.

Strassert, G. 2000. Physical input-output accounting and analysis: new perspectives. 13th International Conference on input-output Techniques, 21-25 August 2000, Macerata, Italy.

Suh S., 2001. "*Principles and methodology in environmental data estimation ---A statistical approach*". European Network of Environmental Input-Output análisis. 1<sup>st</sup> Meeting 8 may 2001, Madrid Spain.

Suh S., 2005. "Theory of materials and energy flow análisis in ecology and economics". *Ecological Modelling*, 189; 251–269.

Suh, S., 2004. A note on the calculus for physical input–output analysis and its application to land appropriation of international trade activities. *Ecological Economics* 48 (1), 9–17.

## T

Toledo V. M. y Ordóñez, M. J., 1993. "The Biodiversity scenario of Mexico: a review of terrestrial habitats", en Ramamoorthy T.P., Bye R and Fa J. Eds.: *Biological diversity of Mexico: Origins and distribution*, Oxford University Press, London.

Toledo V. M., Alarcón-Cháires P. y Barón L., 2002. La modernización rural de México: Un análisis socioecológico. INE-UNAM-SEMARNAT (disponible en <http://www.ine.gob.mx>).

Treloar, G. 1997. Extracting embodied energy paths from input-output tables: towards an input-output-based hybrid energy analysis method, *Economic Systems Research*, 9, pp. 375- 391.

Tukker A., Huppes G., van Oers L., Heijungs R.; 2006. Environmentally extended input-output tables and models for Europe. Report EUR 22194 EN. European Commission Joint Research Centre (DG JRC) Institute for Prospective Technological Studies. Disponible en <http://www.jrc.es>.

Turner, M.G., Dale, V.H., Gardner, R.H., 1989. "Predicting across scales: theory development and testing". *Landscape Ecol.* 3 (3:4), 245–252.

## U

UN (United Nations), 1968. System of National Accounts.

UN (United Nations), 1993. System of National Accounts 1993, United Nations (UN), Commission

of the European Communities (CEC), International Monetary Fund (IMF), Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), World Bank, New York, Brussels, Luxemburg, Washington D.C., F/2/Rev. 4 (SNA93).

UN (United Nations), 2003. System of Environmental and Economic Accounting. United Nations, New York.

Unger K, 2001. "La innovación tecnológica y la industrialización mexicana: una aproximación a clusters regionales". Documento de Trabajo NO. 205, CIDE.

Unger K, y Oloriz M., 2000. "Globalización of production and technology". En Cimoli M. Developing Innovation Systems: México in a Global Context, New York Continuum.

Unger K. y Saldaña L.C., 1999. "Industrialización y progreso tecnológico: una comparación entre las regiones de México". Estudios Sociológicos XVII: 51, Colegio de México.

United Nations 2000. Statistical Yearbook 1997 UNO, New York.

United Nations 2001. System of Environmental and Economic Accounting. SEEA 2000 Revision United Nations, New York

United Nations, 1992. Integrated Environmental and Economic Accounting, Handbook of National Accounting, Interim Version (draft) United Nations, New York.

United Nations, 1993. Handbook of National Accounting: Integrated Environmental and Economic Accounting. Studies in Methods United Nations, New York.

## V

Vázquez Barquero A., 2000. Desarrollo económico local y descentralización en América Latina. Proyecto. CEPAL/GTZ, sobre Desarrollo económico local y descentralización en América Latina. <http://www.cepal.org/publicaciones.html>.

Velázquez, A. et al., 2002. "Estado Actual y Dinámica de los Recursos Forestales en México" en Biodiversitas. Marzo. No. 41. CONABIO.

Victor, P. 1991. Indicators of Sustainable Development: some lessons from capital theory. *Ecological Economics*, 4 (3): 191-213.

Victor, P.A., 1972. *Pollution: Economy and the Environment*. University of Toronto Press, Toronto.

## W

Wackernagel, M and Rees, W., 1996. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*, New Society, Gabriola Island, BC, p. 160.

Wackernagel, M., Lewan, L., Hansson, C.B., 1999. Evaluating the use of natural capital with the ecological footprint. *Ambio* 28, 604–612.

Wackernagel, M., Onisto, L., Bello, P., Linares, A.C., Farfán, I.S.L., García, J.M., Guerrero, A.I.S., Guerrero, M.G.S., 1999. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics* 29, 375–390.

Weisz, H., Duchin, F., 2006. "Physical and monetary input–output analysis: What makes the difference?" *Ecological Economics* 57, pág 534-.

Weisz, H., Schandl, H., Fischer-Kowalski, M. 1999. OMEN: An Operating Matrix for material interrelations between the Economy and Nature. How to make material balances consistent. In: Kleijn, R., Fischer-Kowalski, M., Palm, V. (Eds.) *Ecologizing Societal Metabolism: Designing*

*Scenarios for Sustainable Materials Management*, Leiden.

Weitzman, M. 1976. "On the welfare significance of national product in the dynamic economy". *Quarterly Journal of Economics*, 90: 156-62.

Weitzman, M. 2000. "The linearised Hamiltonian as comprehensive NDP". *Environment and Development Economics*, 5(1 & 2), Special Issue, February and May: 55–68.

WWF, UNEP, 2002. *Redefining Progress, Center for Sustainability Studies*. Living Planet Report 2002. WWF, Gland, Switzerland.

## Z

Zhang F.Q. and Ang B.W. 2001 "Methodological issues in cross-country/region decomposition of energy and environment indicators". *Energy Economics* 23 (2), pp 179-190.