

COSTOS AMBIENTALES Y CAMBIO TECNOLÓGICO EN MÉXICO (1990-2013)

*Gabriel Alberto Rosas Sánchez*¹

*Enrique Hernández Laos*²

Resumen

En la versión canónica del modelo de crecimiento de Solow (1957), además de los insumos primarios (capital fijo y horas-hombre) en este trabajo incorporamos una estimación del valor monetario del daño ambiental como una externalidad negativa, que afecta el valor de los bienes y servicios producidos e incide en la evolución del cambio tecnológico de la economía. Como caso de estudio tomamos la economía mexicana en el período 1990-2013, lo que nos permite obtener una medición virtual del *cambio tecnológico neto de costos ambientales*. Este análisis empírico se lleva a cabo tanto a escala nacional, como en nueve grandes divisiones de actividad económica. Tal ejercicio nos permite cuantificar los efectos sectoriales de los insumos ambientales que tendrían que sufragarse por parte de las empresas, con el objeto de restituir al medio ambiente las condiciones prevalecientes al inicio de cada ciclo productivo. Encontramos que aquellos sectores en que los costos ambientales por unidad producida decrecen en el tiempo, el *cambio tecnológico neto de costos ambientales* resultaría notoriamente más dinámico que las mediciones tradicionales que aplican el modelo canónico de Solow. A la inversa, los sectores en los que los costos ambientales por unidad producida son crecientes en el tiempo, afectarían negativamente el crecimiento de la productividad multifactorial agregada a largo plazo, si en ambos casos se buscara una ruta "verde" de crecimiento económico.

1 Asistente de investigación, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

2 Profesor-Investigador del Doctorado en Ciencias Económicas y del Programa de Posgrado en Estudios Sociales, Universidad Autónoma Metropolitana, México.

Palabras clave: costos ambientales, productividad multifactorial, cambio tecnológico, cambio tecnológico neto de costos ambientales.

Clasificación JEL: O13, O44, Q51, Q55, Q56.

Abstract

In the canonical version of the Solow growth model (1957), besides the primary inputs (fixed capital and man-hours), in this article we incorporate as negative externalities an estimate the monetary value of environmental damages generated by productive activities, affecting the evolution of technological and operational efficiency of the economy. We take the Mexican economy over the years 1990-2013 as a case study, which allows us to obtain a virtual measurement of technological change net of environmental costs generated by the economy, which in empirical terms constitutes an extended measure of multifactor productivity (MFP). This analysis is carried out at national level, as well as in nine large divisions of the mexican economy. The exercise authorize us to quantify the sectoral effects of the environmental inputs that would have to be paid by productive agents, in order to return to the ecosystem the prevailing conditions at the beginning of each production cycle. We found that in those sectors with decreasing environmental costs per unit of production over time, technological change net of environmental inputs (extended MFP measure) would be noticeably more dynamic than the traditional measurements applied by Solow's canonical model. Conversely, sectors with increasing environmental costs per unit of production would negatively affect the rate of growth of the extended aggregate multifactor productivity measure in the long term, if a "green" path of economic growth is sought.

Keywords: environmental costs, multifactor productivity, technological change, technological change net of environmental costs

JEL Classification: O13, O44, Q51, Q55, Q56.

1. Introducción

Los recursos ambientales son esenciales para el funcionamiento de la vida en la tierra y la base principal del desarrollo de las actividades productivas. Sin embargo, el aumento en la intensidad de los métodos de extracción, el uso poco eficiente de los recursos, las deficiencias legales e ineficiencias de las políticas ambientales, han propiciado en la mayoría de los países un creciente deterioro de los ecosistemas.

Dentro del debate teórico y empírico suelen discutirse distintas posturas para mediar la magnitud del deterioro del medio ambiente provocado por las actividades productivas. Desde la perspectiva económica, la cuantificación y valorización monetaria de los recursos ambientales permite asignar un valor económico a un bien cuyas propiedades se asemejan a un bien público, es decir, no excluye a nadie de su uso y no genera costo alguno para quien lo usa. De poder interiorizar ese costo, se lograría un uso más eficiente de los recursos, toda vez que, en la actualidad, el desconocimiento de su precio provoca, en no pocas actividades económicas, un uso inadecuado y la sobreexplotación de los mismos.

Como se sabe, el enfoque canónico del progreso tecnológico toma como base el desplazamiento neutral de la función agregada de producción, y en términos empíricos, resulta de la diferencia entre la tasa de crecimiento del producto y la tasa de crecimiento de los factores primarios de producción, ponderados por el valor de su producto marginal respectivo (Solow, 1957). En términos empíricos, esta manera de medir el avance tecnológico constituye una medición de la Productividad MultiFactorial (PMF), que deriva de muy diferentes causas: *spillovers*³; introducción de nuevos productos y/o tecnologías; cambios en la calidad de los insumos y/o en los activos intangibles, entre otros, a cuya lista podría agregarse la consideración del uso de recursos naturales (Her-

3 En años recientes se acuña este término para referirse a los flujos de conocimientos y/o técnicas que desbordan (impactan) a la industria en su conjunto resultado de innovaciones tecnológicas por parte de la(s) empresa(s) líder(es). Se consideran *externalidades* (positivas y/o negativas) que se trasladan a los demás participantes de la industria

nández Laos, 2007:36). Es en esta controversia metodológica de cálculo del *cambio tecnológico* donde radica nuestra propuesta de investigación.

En este sentido, diversos estudios sobre competitividad y medio ambiente sostienen que cumplir con altos estándares ambientales, sea por políticas gubernamentales o exigencias de los consumidores, podría acompañarse de mayores niveles de competitividad de las empresas, en la medida en que les obligaría a mejorar la eficiencia de sus procesos productivos y elaborar productos de mayor valor agregado (Porter y Van Der Linde 1995; Frondel *et. al.* 2007; Puig y Freire 2007; CEPAL 2008). En este contexto, la protección del medio ambiente se considera un factor de competitividad que los agentes productivos deberían incorporar en sus planes de producción (Cammarano, 2004).

En este ensayo nos proponemos simular el efecto sobre la evolución del *cambio tecnológico* (PMF) registrado por la economía nacional y sectorial, de haberse aplicado una política ambiental que obligase a las empresas a reponer el daño al ambiente causado por el desarrollo de sus actividades productivas, es decir, si se hubiese interiorizado el costo incurrido por el daño ambiental causado. Para ello, proponemos un sencillo método de medición, en el contexto del modelo convencional de Solow, que permite incorporar en la contabilidad del crecimiento los costos ambientales incididos en la economía a partir de su formulación algebraica. No se profundiza en los canales de transmisión que se requerirían para la interiorización de estos costos y su cobertura por parte del sector productivo, pero podría imaginarse que fuese a través de un impuesto directo a las ganancias de las empresas, con la finalidad de regenerar el medio ambiente y mantener constante el nivel de capital natural sobre la productividad total de los factores⁴. El ejercicio anterior permite, a la vez, comparar nuestras mediciones respecto a las obtenidas mediante la medición convencional de la contabilidad del crecimiento.

4 Como es habitual, hacemos uso indistinto de los términos progreso o cambio tecnológico, y ambos –por su significado– con el de la productividad multifactorial. Más adelante hacemos referencia al significado del *residuo* de Solow.

En las primeras dos secciones abordamos brevemente los antecedentes teóricos y empíricos del problema que nos ocupa y examinamos una parte relevante de la bibliografía especializada existente. En la siguiente sección explicamos la metodología utilizada para la medición de los costos ambientales y planteamos los modelos que utilizamos en los ejercicios de simulación contra factual. Por último, ofrecemos una recapitulación que resume los resultados obtenidos y plantea algunas recomendaciones que podrían derivarse de nuestro análisis.

2. Antecedentes

La interrelación entre los ecosistemas y la economía implica complejos procesos dinámicos, en los cuales se intercambian energía y materia; donde la actividad humana modifica sus componentes, lo que en conjunto repercute en la dinámica de los equilibrios necesarios para su conservación. Por otra parte, generalmente las estructuras económicas y sociales prevalecientes no contemplan el reciclado de los desechos, ni tienen en cuenta las tasas de regeneración de los recursos explotados (Romero, 2001:15). Y las mediciones usuales de las variables macroeconómicas no suelen tomar en consideración los efectos (en ocasiones dañinos) que las actividades productivas provocan al medio ambiente.

En la aplicación de los procesos productivos, las materias primas, los componentes, los combustibles y otros insumos se transforman en productos intermedios y/o finales, y paralelamente se generan desechos. Es entonces, que resulta pertinente tomar en consideración los efectos (negativos por lo general) generados por la contaminación y la sobreexplotación de los recursos naturales. La contaminación se produce cuando los desechos de las actividades productivas, sociales y/o derivadas de desastres naturales, dañan las propiedades físico-químicas, la cantidad y/o la disponibilidad de recursos, provocando a su vez perturbaciones al medio ambiente, que suelen ser severas (*Ibidem*, 2001:32). Como consecuencia, se alteran las tasas de crecimiento de las especies y la estructura de los ecosistemas, de las propias actividades económicas, la infraestructura y/o la salud de la población, todo lo cual depende de los ecosistemas afectados. La magnitud del daño incurrido se relaciona,

entonces, con la necesidad de recuperar la capacidad del ecosistema alterado por las actividades productivas.

De acuerdo con los especialistas, la sobreexplotación de recursos naturales renovables se presenta cuando éstos se usan con una intensidad mayor que su tasa natural de crecimiento, y se sabe que el ritmo de las actividades humanas tiende a ser más intenso que la regeneración del medioambiente. A ello contribuyen fenómenos tales como el desarrollo tecnológico y la capacidad de algunas actividades, regiones y/o países de apropiarse los recursos naturales con el fin de satisfacer sus demandas, provocando severas presiones y perturbaciones sobre la naturaleza.

Es por ello, siguiendo a los especialistas, que los daños al ambiente comúnmente impliquen pérdidas económicas a los países; es decir, constituyen externalidades negativas para los sistemas económicos y sus agentes. Osorio y Correa (2004:163) mencionan, entre otros, los siguientes efectos negativos que pueden causarse al medio ambiente:

- la pérdida de producción agrícola y silvícola debido a la erosión del suelo y la contaminación del aire, y la erosión;
- el empeoramiento de la salud humana con las consecuentes pérdidas en productividad laboral;
- la desviación de recursos altamente productivos a usos de mantenimiento, mitigación y reparación de los daños causados por la contaminación.

Por su parte, Hernández Laos (2001:65) nos recuerda que:

Con el crecimiento de la población aumentan las necesidades materiales (alimentación, vivienda, cuidado de la salud, educación, etcétera) de la sociedad y, con el paso del tiempo, aumenta el número de trabajadores que buscan insertarse en el aparato productivo [...] lo que a su vez reclama de una mayor utilización de recursos naturales que imponen mayores cargas al ambiente debido al aumento de emisiones y desechos.

Si bien el problema ambiental debe considerarse no sólo desde la perspectiva económica, las aportaciones de esta disciplina ayudan a visualizar las repercusiones del medio ambiente sobre la operación de la economía en el mediano y largo plazo, evitando que los juicios morales compitan con el análisis económico. Por ello, introducir cuestiones medioambientales en la toma de decisiones de la sociedad, a través de indicadores monetarios de los costos ambientales, permite, entre otras cosas, llevar a cabo una evaluación del empleo productivo de los recursos y el grado en que se alcanza un mejor aprovechamiento del uso social de los mismos. Con ese fin, podría orientarse la acción pública hacia la utilización de modos de producción con menores impactos negativos al ambiente, orientando las políticas públicas hacia un desarrollo sustentable. Es decir, reconsiderar el papel del medio ambiente para obtener nuevas mediciones de productividad, cambio tecnológico y crecimiento económico, podría constituirse en un elemento relevante para entender y aproximarnos a un esquema de desarrollo sustentable.

3. Revisión de la bibliografía

La bibliografía especializada, principalmente la de carácter empírico, sugiere adoptar en este tema distintos niveles de análisis en la medición de las repercusiones de la actividad económica sobre el medio ambiente. Bowen (2016) examina la literatura desarrollada que analiza los efectos ambientales sobre las variables económicas, sobre todo en el crecimiento del producto nacional y PMF, y concluye que los factores ambientales afectan la actividad económica en tres escalas de medición: a) evidencia microeconómica (repercusiones en la productividad del trabajo debido a extremas condiciones del clima; deterioro de la salud de los trabajadores por la mala calidad del ambiente); b) evidencia macroeconómica (contribución de las fuentes naturales y eco-servicios en la productividad laboral y la estimación del Producto Interno Bruto (PIB) en países desarrollados y modesta en países en desarrollo; políticas ambientales generadoras de externalidades negativas que condicionan el desempeño económico en el largo plazo, por sus efectos sobre el crecimiento, las tasas de ahorro y/o el crecimiento de la productividad); c) evidencia histórica (nuevas formas de organización en la agricultura,

manera armónica de interactuar de las sociedades rurales con el medio ambiente y/o consideraciones ambientales en las decisiones de producción de las sociedades desarrolladas).

Siguiendo el esquema de Bowen, en la evidencia microeconómica encontramos las aportaciones de Popp y Newell (2012), quienes aseguran que la política medioambiental debe tomar en cuenta el costo de oportunidad de inversiones alternativas en Innovación y Desarrollo (I+D) con el objeto de insertar en la decisión criterios que provoquen menores costos ambientales. Por otra parte, Hottenrott, Rexhäuser y Vevgeters (2014) muestran, con micro-datos de empresas alemanas, los efectos de la regulación existente en el periodo de 2006-2008, encontrando un desplazamiento positivo del gasto de las firmas a inversiones de I+D ambiental.

Otros estudios empíricos aportan mediciones alternativas de la PMF a nivel agregado. Por ejemplo, Brandt, Schreyer y Zipperer (2013) estiman el crecimiento de la PMF de 25 países pertenecientes a la OCDE en el periodo 1985-2008. En su ejercicio, estos autores utilizan una función Cobb-Douglas que incluye el valor de los insumos ambientales y el valor del capital natural como insumos. Concluyen que aquellos países cuyo acervo de capital natural es mayor, la medición agregada de la PMF es mayor que la medición con menores niveles de capital natural. En el caso de Chile, México, Sudáfrica y Rusia, el capital natural contribuye al crecimiento del producto nacional de manera positiva, además de compensar la caída de la productividad del capital y de la fuerza de trabajo.

Entre las aportaciones de carácter teórico-histórico encontramos a Chudnovsky (1996), que evalúa el impacto de políticas ambientales que sancionan, a través de impuestos, los efectos ambientales negativos, tanto en los países desarrollados como de los países en desarrollo de la OCDE en el periodo 1970 a 1990. Chudnovsky concluye que estas políticas han beneficiado a los países desarrollados al permitirles re-diseñar sus procesos industriales con el objeto de reducir el impacto negativo de los mismos sobre el medio ambiente. Por el contrario, Magat (1978) señala que un impuesto constante sobre la contaminación, constituye un

des-incentivo para el gasto en I+D en favor del ambiente, por lo que recomienda continuar con el gasto en I+D productiva. Por último, Capdevielle (2004) considera que la política tecnológica debe estar vinculada a la política educativa, fiscal, macroeconómica, ambiental, regional e industrial, y pone el énfasis en la formación de educación profesional apropiada para generar actividades innovadoras que demanden los mercados específicos.

En otra vertiente, no incluida por Bowen (2016), se destaca la necesidad de incorporar en los Sistemas de Cuentas Nacionales (SCN) los efectos del deterioro ambiental sobre la actividad económica. En esta dirección, Obst (2015) propone incluir en los SCN de cada país las aportaciones del *System Environmental and Economic Accounting* (SEEA) y diseñar un nuevo marco de medición de la PMF de carácter estandarizado. Ello permitiría integrar la información entre la economía y las actividades ambientales a las nuevas estimaciones, y diferenciar los efectos netos de cada factor de producción, y su contribución al crecimiento del producto combinado con los insumos de capital y trabajo, incluyendo además, tres insumos intermedios (energía, material y servicios) calculado a partir del modelo KLEMS: Capital (K), Trabajo (L), Energía (E), Materiales (M) y Servicios (S). Coremberg (2015) considera la dificultad de obtener información sobre los factores ambientales para ser integrados en los SCN; por ello, propone la ampliación de la medición *KLEMS+N*, añadiendo los insumos ambientales (N) considerando las recomendaciones al SCN incluidas en el SEEA. Concluye que la medición es más aproximada a la estimación de las verdaderas fuentes del crecimiento, al incorporar información de fuentes no económicas.

Dado el anterior contexto, en este artículo presentamos nuestra propuesta de medición virtual del progreso tecnológico que se alcanzaría, tomando como insumos, además del capital fijo y la mano de obra, los costos ambientales. Como resultado de incluir el uso de esos activos intangibles, se provoca un sesgo en la estimación convencional de la contabilidad del crecimiento, cuya magnitud nos interesa cuantificar en el caso de la economía mexicana a lo largo de las últimas dos y media décadas. La magnitud del sesgo dependerá, por tanto, de la efectividad

con que los avances de la tecnología adoptada y/o de la racionalización de los procesos productivos existentes disminuyan (aumenten) los daños que la evolución de la economía ejerce al medio ambiente en cada ciclo productivo. Por lo mismo, la reposición de tales daños, efectuada por ejemplo a través de políticas gubernamentales "verdes" de carácter fiscal, al regenerar el capital natural dañado e interiorizar su costo en las empresas, les obligaría a acrecentar sus niveles de eficiencia operativa, con el objeto de mantener (aumentar) sus índices de competitividad, incentivando además el crecimiento de los niveles agregados de productividad de la economía.

4. Contexto teórico

Para cuantificar la tendencia alcanzable por el *cambio tecnológico* agregado de la economía partimos del enfoque de Robert Solow (1957). El autor supone, en el contexto de la teoría neoclásica, la existencia de una función de producción agregada sujeta a diversos supuestos sobre la operación de los mercados, la retribución de los factores de la producción y la ausencia de economías y diseconomías de escala. En ese tenor, aplica la llamada *contabilidad del crecimiento* que, al comparar la tasa de crecimiento del producto agregado como la suma de las tasas de crecimiento de los insumos primarios (capital y trabajo), ponderadas por sus respectivas participaciones relativas en el ingreso, permite medir un 'residuo' que, bajo los supuestos adoptados, Solow (1957) identifica como una medida del *progreso tecnológico* registrado por la economía. Otros autores, sin embargo, difieren con esa interpretación, al considerar al 'residuo' de Solow como 'una medida de nuestra ignorancia' (Abramovitz, 1956) o, en todo caso, como una cuantificación de la PMF de la economía (Kendrick, 1956).

Aunque en la aplicación empírica del modelo de Solow (1957) no interviene explícitamente la función neoclásica de producción, en su formulación teórica (Solow, 1956), creemos conveniente repasar los puntos sobresalientes de su planteamiento. En ese contexto, la función agregada de producción describe la manera en que el capital y la mano de obra se combinan para la obtención del producto agregado de carác-

ter final generado por la economía. Para simplificar la exposición, utilizaremos una función del tipo Cobb-Douglas y al igual que Solow, supondremos la existencia de rendimientos constantes a escala de manera que si ambos factores medidos en términos agregados: el acervo de capital fijo (K) y el total de las horas-hombre empleadas en la economía (L) aumentan por ejemplo en v , entonces, el producto final (Q) aumentará en la misma cuantía, v . Si además se asume que el "cambio tecnológico" es Hicks-neutral⁵, para el período "t" se tiene:

Donde:

$Q_t =$ PIB a precios constantes en el periodo 't'; $A_t =$ Índice de cambio tecnológico en 't';

$K_t =$ Acervo de capital en 't'

$L_t =$ Horas-hombres empleadas en 't'

Diferenciado la ecuación anterior respecto al periodo⁶ (t), y dividido entre el producto, tenemos:

$$\frac{\dot{Q}}{Q} = \frac{\dot{A}}{A} + A \left(\frac{df}{dK} \right) \left(\frac{\dot{K}}{Q} \right) + A \left(\frac{df}{dL} \right) \left(\frac{\dot{L}}{Q} \right)$$

Las participaciones relativas del trabajo y capital en el producto están dadas por:

$$\alpha = W/Q_c$$

$$\beta = 1 - \alpha$$

Donde W expresa la remuneración a salarios, Q_c corresponde al PIB a precios corrientes; mientras que α es la participación de los salarios en el producto total, y β la ponderación de las ganancias en el valor

5 Una innovación tecnológica es neutral si la tasa entre los productos marginales no varía para un coeficiente capital-trabajo dado (Hicks, 1960).

6 Las variables con la notación $\dot{}$ refieren a variaciones en el tiempo, es decir, expresan la derivada de la variable con respecto a (t).

agregado⁷. La tasa de variación anual del producto se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{\dot{Q}}{Q} = \frac{\dot{A}}{A} + \alpha \left(\frac{\dot{K}}{K} \right) + \beta \left(\frac{\dot{L}}{L} \right)$$

Considerando que las variables expresan tasas de cambio de cada variable respecto al tiempo, la ecuación puede escribirse de la siguiente forma:

$$\frac{\dot{Q}}{Q} = \dot{q} \quad \frac{\dot{A}}{A} = \dot{\pi} \quad \frac{\dot{K}}{K} = \dot{k} \quad \frac{\dot{L}}{L} = \dot{l}$$

Expresando las variables en términos de horas-hombre trabajadas⁸, se tiene:

$$\dot{q} = \dot{q} - \dot{l}$$

$$\dot{k} = \dot{k} - \dot{l}$$

Y, por tanto, la tasa (anual) de crecimiento del producto por hora-hombre es igual a:

$$\dot{q} = \dot{\pi} + \beta \dot{k}$$

Despejando $\dot{\pi}$ se determina la tasa de crecimiento del cambio tecnológico como se presenta en el esquema teórico de Solow, la cual expresa la diferencia de la tasa de crecimiento del producto por hora-hombre y la tasa de crecimiento de los insumos finales (capital fijo por hora-hombre) ponderadas por su importancia en el producto:

$$\dot{\pi} = \dot{q} - \beta \dot{k}$$

De esta manera, la formulación de Solow (1957) cuantifica la tasa anual de crecimiento del *cambio tecnológico*, misma que suele aplicarse en términos empíricos a los ejercicios de *contabilidad del crecimiento*. En lo que sigue llamaremos a esta formulación '*cambio tecnológico tra-*

7 Como se observa, debido al supuesto de rendimientos constantes a escala en la función de producción, α y β suman la unidad.

8 Las variables expresadas en minúsculas y con el subíndice $\dot{}$ refieren a las variables en términos por trabajador.

dicional', para distinguirla de la referida a la medición del '*cambio tecnológico neto de costos ambientales*' que formulamos a continuación. En efecto, como hicimos referencia más arriba, la mayor parte de los recursos ambientales, aunque finitos en términos físicos, no tenemos forma de cuantificarlos, por lo que su utilización la estimamos en términos del costo que representaría para la sociedad 'reponer' su utilización, con el propósito de mantener 'intacta' (es un decir) su naturaleza en términos de sus propiedades y magnitudes físicas.

En este caso, se trata, en cierta forma, de estimaciones cuantitativas de carácter '*virtual*' que, de ser erogadas por la sociedad, suponemos restituirían las condiciones que tenían esos recursos al inicio del ciclo productivo. En los estadios actuales, las técnicas contables utilizadas en esas estimaciones no aportan información sobre el comportamiento económico que podríamos esperar de su utilización en los procesos productivos, por lo que resultaría poco apropiado, en términos teóricos, suponer que los recursos naturales se comportan en términos económicos como lo hacen los recursos físicos (utilización de los acervos de capital fijo y/o horas-hombre laboradas)⁹. Por lo cual, figuremos que pueden tratarse como productos negativos generados en los procesos productivos que, al estar valuados a precios corrientes por las autoridades estadísticas, pueden descontarse del valor del PIB al igual, en todo caso, que la utilización de los acervos de capital que se descuentan de su valor contabilizado a costo de reposición por los especialistas.

De esta manera, la aplicación del esquema de Solow (1957) para incorporar la utilización de los recursos ambientales reclamaría una diferente función de producción, que tomará como argumento a explicar la tasa de crecimiento del Producto Interno *Neto* de costos ambientales, es decir, tomar como representativo del proceso ampliado de producción agregada el Producto Interno *Neto* Ecológico (PINE). En ese tenor, y suponiendo que la tecnología utilizada por la economía a nivel agregado

9 Nos referimos, por ejemplo, al comportamiento supuesto por la economía neoclásica para los recursos productivos que se utilizan en la producción: rendimientos marginales decrecientes, rendimientos constantes a escala, retribución de acuerdo a su productividad marginal, etc.

continuase siendo del tipo Cobb-Douglas, podemos entonces establecer un procedimiento paralelo para la estimación del cambio tecnológico *neto* de costos ambientales de la siguiente manera:

$$Q_{vt} = Z_t * g(K_t, L_t)$$

En donde: Q_{vt} expresa la cuantía de los productos finales a nivel agregado, *neto* de los costos implicados por la utilización de recursos naturales, es decir, expresa la cuantía del PINE definido con anterioridad. De manera similar al procedimiento '*tradicional*' de Solow (1957); diferenciando la ecuación anterior con respecto del tiempo y ponderando cada variable por el PINE de cada periodo, obtenemos la siguiente expresión:

$$\frac{\dot{Q}_v}{Q_v} = \frac{\dot{Z}}{Z} + z \left(\frac{dg}{dK} \right) \left(\frac{\dot{K}}{Q_v} \right) + z \left(\frac{dg}{dL} \right) \left(\frac{\dot{L}}{Q_v} \right)$$

Definimos ahora dos nuevos valores de α' y β' , que ahora expresan las participaciones factoriales respecto del PINE, que difieren de las estimaciones anteriores tomando como punto de referencia el PIB, con lo que se obtiene:

$$\alpha' = W/Q_v$$

$$\beta' = 1 - \alpha'$$

Con lo cual, la tasa anual de variación del PINE se expresa:

$$\frac{\dot{Q}_v}{Q_v} = \frac{\dot{Z}}{Z} + \alpha' \left(\frac{\dot{K}}{K} \right) + \beta' \left(\frac{\dot{L}}{L} \right)$$

Dado que la ecuación anterior está expresada en tasas de cambio en el tiempo, podemos reescribir la función de la siguiente manera:

$$\frac{\dot{Q}}{Q} = q_v \quad \frac{\dot{Z}}{Z} = \phi \quad \frac{\dot{K}}{K} = k \quad \frac{\dot{L}}{L} = l$$

Obteniendo las variables en términos de horas-hombres trabajadas, se sigue:

$$\dot{q}_v = \dot{q}_v - \dot{l}$$

$$\dot{k} = \dot{k} - \dot{l}$$

De esta manera, la tasa de crecimiento del PINE por hora-hombre a partir de las fuentes del crecimiento expresadas, queda de la siguiente forma:

$$\dot{q}_v = \dot{\phi} + \beta \dot{k}$$

Por tanto, despejando $\dot{\phi}$ definimos la tasa de crecimiento del *Cambio Tecnológico Neto de Costos Ambientales* como la diferencia entre la tasa del crecimiento del PINE por hora-hombre y la tasa de variación de los insumos de capital y mano de obra ponderados por su participación en el PINE:

$$\dot{\phi} = \dot{q}_v - \beta \dot{k}$$

El *cambio tecnológico neto de costos ambientales*, es una medición de mayor espectro de la PMF por incluir el costo monetario correspondiente a la degradación y agotamiento del medio ambiente por la utilización de insumos ambientales en cada proceso productivo. A su vez, obtenemos una medida de relevancia en términos de responsabilidad social por derogar un costo que se asume social, a un costo privado. Es decir, cualquier actividad productiva que repercute al ambiente no es respondida por las empresas, asumiéndose pública, y trasladándose esta externalidad al conjunto de la sociedad. A medida que se considere este efecto dentro de los planes productivos de las empresas, la sociedad será beneficiada.

5. Definición y medición de variables

Partimos de la información del Sistema de Cuentas Nacionales (SCN) y del Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México (SCEEM) del INEGI. La utilización paralela de ambas fuentes permite contar con una estructura contable que describe no sólo las funciones de las actividades

económicas del país, sino también aporta información sobre el agotamiento de los recursos ambientales y degradación del medio ambiente, con el objeto de cuantificar lo que el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) denomina como PINE, es decir, permite contar con un marco contable que integra a las variables económicas convencionales, una estimación de los costos por agotamiento y por degradación¹⁰.

La estimación del PINE puede obtenerse a través de identidades macroeconómicas del SCN. En efecto, partiendo de la definición del PIB por el lado de la demanda final, se tiene la siguiente igualdad:

$$PIB = C + I + (X - M)$$

En donde:

C=Consumo final

X=Exportaciones

I=Formación bruta de capital

M=Importaciones

Dado que, en el proceso productivo, el acervo de capital fijo sufre un desgaste (se deprecia) que disminuye su disponibilidad en el siguiente periodo, deduciendo este desgaste se obtiene una estimación del *Producto Interno Neto* (PIN):

$$PIN_t = PIB_t - \delta K_t$$

δ = Tasa de depreciación del capital en el periodo *t*;

K_t = Acervo de capital al final del periodo *t*;

y, por tanto, definimos el PINE como la diferencia entre el PIN y los costos ambientales (por agotamiento y degradación):

$$PINE_t = PIN_t - (Cag + Cdg)_t$$

Donde

Cag= Costos por agotamiento de los recursos naturales y degradación

Cdg= Costos por degradación del medio ambiente

10 INEGI (2013) Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas Económicas y Ecológicas de México. Fuentes y Metodología. Base de datos en línea (2013).

En esta definición contable, el PINE expresa el valor agregado neto de depreciación generado por la economía, descontados los costos monetarios que se estima se incurrieron en el período debido al agotamiento y degradación de los recursos naturales en cada periodo productivo provocados por las actividades productivas. Este marco contable permite descontar como costos (virtuales) el uso de los recursos necesarios para restituir al medio ambiente a los niveles que tenía al inicio de cada ciclo productivo, en un esquema sencillo que vincula el uso de los recursos físicos y ambientales en términos monetarios¹¹, y permite elaborar indicadores de producción e ingresos ajustados ambientalmente (De Alba y Reyes; 1998:225).

El SCEEM aporta información sobre los siguientes rubros: i) petróleo, ii) recursos forestales (maderables) y cambios en el uso del suelo, iii) recursos hídricos (agua subterránea), iv) erosión del suelo, v) contaminación del agua, vi) contaminación del suelo, y vii) contaminación del aire. La utilización de los primeros tres provoca el *agotamiento* del medio ambiente, en tanto que los tres restantes provocan su degradación.

Este sistema contable, a su vez, clasifica los activos en tres categorías: i) activos económicos producidos, es decir, los que resultan de un proceso productivo y constituyen bienes de capital fijo necesarios para producir otras mercancías, ii) activos económicos no producidos, estos, *recursos naturales* utilizados como insumos en el proceso productivo, capaces de ser cuantificables y conocer su disponibilidad en el tiempo, cuyo uso provoca el agotamiento de los mismos, y iii) *activos ambientales* no producidos, incluidos los recursos afectados por las actividades económicas, cuya utilización debe considerarse como un flujo porque, al no ser posible cuantificarse, sólo puede conocerse (estimarse) los efectos que provocan en la degradación del ambiente, por lo que

11 Para expresarlo en otros términos, el anterior marco contable proporciona estimaciones monetarias del daño causado por el agotamiento de los recursos y los perjuicios provocados por la contaminación del medio ambiente, por medio de la estimación de los recursos (monetarios) que se requerirían para conservar no sólo la riqueza tangible, sino que extiende además, el concepto de capital, al incluir el capital natural.

sólo pueden considerarse en el sistema de manera cualitativa a través de indicadores de calidad¹².

A su vez, el deterioro de los activos económicos y ambientales no producidos, provocan dos clases de costos: los *costos por agotamiento*, que consisten en el valor monetario que representa el desgaste o pérdida de los recursos materiales utilizados en los procesos productivos (petróleo, árboles o agua, entre otros) y los *costos por degradación*, cuyo valor monetario cuantifica el deterioro del ambiente provocado por las actividades económicas (por ejemplo, el costo de los desechos vertidos que contaminan el suelo, las aguas y/o el aire).

La valorización de todas las magnitudes de este sistema contable, incluidos los costos ambientales, se realiza a precios corrientes. Ello permite obtener estimaciones del PINE, es decir, la cuantía de todos los bienes y servicios finales producidos por la economía, neta de depreciación y de costos ambientales, al descontarse del PIB, tanto la depreciación de los acervos de capital fijo, como los costos (*virtuales*) incurridos por el agotamiento de recursos naturales y por la degradación del ambiente.

6. Fuentes de información y su procesamiento

Para realizar el ejercicio empírico se requirieron series estadísticas homogéneas durante todo el período de análisis. Al homogeneizar las series de costos ambientales (1990-2013) se procedió a encadenar dos sub-series: una correspondiente a los años 1988 a 2003, y la otra a los años 2003 a 2013; como punto de enlace se considera el año 2003 (Cuadro 1). Dado que los fenómenos ambientales sólo son relevantes en términos de largo plazo, para eliminar las variaciones de corto plazo de la actividad económica, las series estadísticas obtenidas se pasaron por

12 El INEGI valora estos activos aplicando tres métodos alternativos: el de *renta neta*, el del *costo de uso* y el del *costo de mantenimiento*. El primero calcula el valor actual de los ingresos que se espera del recurso durante el tiempo de vida de éste; el segundo valoriza el recurso estimando el costo de su agotamiento en el tiempo, y el recurso monetario que se requiere invertir con el objeto de mantener un ingreso posterior permanente. El tercer método cuantifica el recurso estimando el costo que implicaría mantenerlo sin deterioro, aplicando recursos alternos.

el filtro Hodrick-Prescott, lo que permite observar las tendencias de carácter más permanente en la medición de todas las variables, incluidas las referidas a los costos ambientales¹³.

Cuadro 1. Descripción de variables

Variables	Descripción	Fuente
q	PIB a precios constantes 2008	SCNM, INEGI
l	Horas-Hombres trabajadas	SCNM, INEGI
k	Acervo de capital a precios constantes 2008	SCNM, INEGI
q_v	PINE a precios constantes 2008	SCEEM, INEGI
w	Remuneración a salarios	SCNM, INEGI
\dot{k}	PIB por trabajador	SCNM, INEGI
(\dot{q}_v)	PINE por trabajador	SCEEM, INEGI
\dot{k}	Acervo de capital por trabajador	SCNM, INEGI

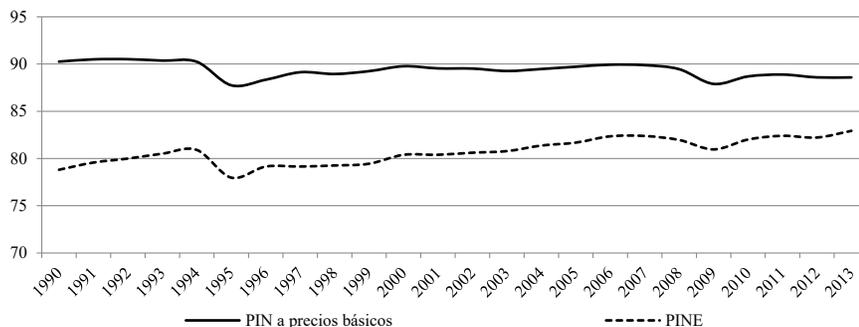
Fuente: Elaboración propia.

7. Principales resultados empíricos

La gráfica 1 muestra la evolución de la participación del PIN y del PINE respecto del PIB anual, valuados precios corrientes, para el período completo de análisis (1990-2013). Como se observa, el movimiento de ambas participaciones es sincrónico respecto al ciclo económico, especialmente, las dos proporciones son sensibles a los años de crisis (1994 y 2008). Además, se detecta que a lo largo de las dos y media décadas disminuye monótonicamente la distancia entre el PIN y PINE lo que, como más adelante veremos, apunta a la gradual disminución de la importancia relativa de los costos ambientales respecto del PIB a precios corrientes, en tanto que la gráfica 2 describe la tendencia de los costos ambientales (por agotamiento y degradación) respecto del PIB, también a precios corrientes.

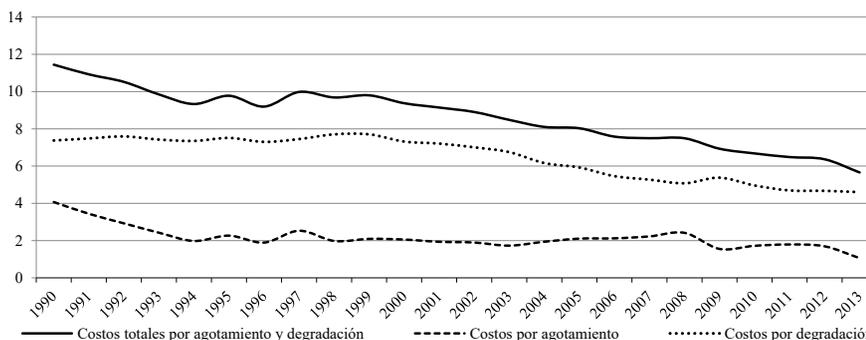
13 El filtro Hodrick-Prescott es una herramienta estadística cuya aplicación permite separar una serie de tiempo en dos componentes: uno de carácter cíclico y otro de carácter tendencial. En nuestro ejercicio tomamos un valor de $\lambda=100$.

Gráfica 1. México. Evolución anual de la importancia relativa del PIN y PINE respecto al PIB. 1990-2013 (Porcentajes)



Fuente: Cálculos propios con base en información en: INEGI (2013) Sistemas de Cuentas Económicas y Ecológicas de México 1988-1996, 1997-2003 y 2003-2013, (Base de datos en línea)

Gráfica 2. México. Evolución anual de la importancia relativa de los costos ambientales respecto al PIB. Costos por agotamiento y degradación (1990-2013)



Fuente: Cálculos propios con base en información de: INEGI (2013) Sistemas de Cuentas Económicas y Ecológicas de México 1988-1996, 1997-2003 y 2003-2013 (Base de datos en línea)

En la gráfica 2 resulta evidente no sólo que los costos por degradación representan la mayor importancia cuantitativa de los costos am-

bientales, sino también puede observarse con claridad la tendencia decreciente de ambos componentes de los costos totales como proporción del PIB. En efecto, a pesar de que entre 1990 y 2002 los costos por degradación oscilaron alrededor de 8.5% del PIB, a partir de 2003 registraron una disminución cercana a dos puntos porcentuales, toda vez que pasaron de representar 8.5% del PIB a menos del 6%, ubicándose por debajo del 5% para 2013¹⁴. En contraste, los costos por agotamiento registraron valores oscilantes a lo largo del periodo (1990-2013) de entre el 1% y 3% del PIB, alcanzando valores máximos entre 2002 y 2008, para terminar en un porcentaje menor (del orden de 1%) para 2013.

El cuadro 2 desagrega sectorialmente la información procesada, al describir la evolución de la participación de los costos por agotamiento y degradación de los sectores productivos distinguidos en el análisis, en relación con PIB generado por cada uno de éstos.

14 Recordemos, sin embargo, que el año 2003 fue el seleccionado para llevar a cabo el encadenamiento de las dos series aportadas por el INEGI sobre el tema, por lo que no es posible descartar un efecto meramente de cálculo estadístico en la tendencia de la última parte del período analizado.

Cuadro 2. Participaciones relativas de los costos por agotamiento (cag) y costos por degradación (cdg) respecto al PIB generado por el sector (1990-2013)

Sector	Agricultura		Minería		Manufacturas		Construcción		Electricidad		Transporte		Comercio y Servicios	
	cag	cdg	cag	cdg	cag	cdg	cag	cdg	cag	cdg	cag	cdg	cag	cdg
1990	24.10	21.005	17.117	0.169	0.056	0.639	0.073	0.000	0.005	3.669	0.000	62.991	0.269	7.070
1991	23.792	19.786	17.276	0.195	0.071	0.604	0.051	0.000	0.006	2.797	0.000	59.430	0.311	6.980
1992	19.792	23.169	18.722	0.204	0.070	0.596	0.056	0.000	0.005	2.210	0.000	64.501	0.250	6.930
1993	22.078	19.860	12.895	0.171	0.058	0.622	0.061	0.000	0.004	2.129	0.000	64.372	0.191	7.030
1994	20.738	17.460	10.246	0.190	0.083	0.604	0.013	0.000	0.007	2.785	0.000	63.866	0.190	6.519
1995	22.386	22.433	9.221	0.134	0.069	0.568	0.016	0.000	0.011	4.249	0.000	59.924	0.212	7.124
1996	14.974	19.261	10.340	0.153	0.088	0.548	0.012	0.000	0.016	5.035	0.000	55.909	0.249	7.276
1997	23.491	19.242	14.525	0.173	0.091	0.564	0.026	0.000	0.000	5.892	0.000	56.548	0.248	7.348
1998	19.611	18.969	12.823	0.204	0.086	0.556	0.019	0.000	0.000	6.167	0.000	56.786	0.195	7.498
1999	18.806	19.960	18.860	0.209	0.087	0.523	0.014	0.000	0.000	4.386	0.000	56.165	0.193	7.328
2000	18.798	19.870	21.722	0.246	0.088	0.523	0.045	0.000	0.000	8.099	0.000	53.411	0.218	6.730
2001	15.148	20.038	24.016	0.232	0.101	0.543	0.044	0.000	0.000	6.129	0.000	51.910	0.251	6.535
2002	15.127	21.284	25.889	0.268	0.108	0.548	0.042	0.000	0.000	3.143	0.000	52.856	0.196	6.307
2003	14.841	20.663	20.944	0.212	0.110	0.512	0.043	0.000	0.000	3.174	0.000	53.689	0.221	6.119

2004	12.300	18.130	21.294	0.178	0.097	0.538	0.053	0.000	0.000	2.810	0.000	50.480	0.200	5.741
2005	12.249	19.816	21.735	0.137	0.098	0.655	0.044	0.000	0.000	2.779	0.000	47.149	0.182	5.460
2006	11.660	18.943	21.689	0.122	0.068	0.624	0.039	0.000	0.000	2.276	0.000	44.509	0.138	4.861
2007	10.406	19.466	22.124	0.126	0.059	0.772	0.051	0.000	0.000	2.076	0.000	42.494	0.159	4.599
2008	7.642	20.759	23.555	0.112	0.054	1.198	0.048	0.000	0.000	1.858	0.000	40.474	0.136	4.196
2009	8.633	18.382	17.515	0.153	0.056	1.395	0.032	0.000	0.000	1.733	0.000	43.448	0.136	4.581
2010	6.746	16.890	18.954	0.117	0.051	1.235	0.023	0.000	0.000	1.766	0.000	37.788	0.129	4.277
2011	6.310	17.892	16.581	0.096	0.049	1.262	0.032	0.000	0.000	2.173	0.000	36.098	0.121	3.938
2012	1.955	17.989	16.634	0.090	0.050	1.334	0.034	0.000	0.000	2.635	0.000	33.339	0.126	4.099
2013	3.926	18.364	10.758	0.107	0.053	1.434	0.017	0.000	0.000	2.250	0.000	31.419	0.124	3.962

Fuente: Cálculos propios con base en información de: Sistemas de Cuentas Económicas y Ecológicas de México 1988-1996, 1997-2002 y 2003-2013. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

En resumen, en el cuadro citado se observa que en nuestro país han sido los sectores del Transporte, Comercio y Servicios, la Agricultura y Minería, los que han incurrido en una proporción más grande de su PIB en forma de costos ambientales, por el agotamiento y la degradación de los recursos naturales que utilizan en la realización de su actividad económica. En contraste, los costos incurridos por la Construcción, las Manufacturas y la Electricidad, de acuerdo con el INEGI, revisten una importancia relativa menor, del orden de sólo tres de su PIB anualmente en promedio. Para una mejor comprensión de las magnitudes involucradas, a continuación comentamos brevemente la tendencia registrada por la contribución a los costos ambientales derivada de la operación en cada una de las actividades económicas descritas.

Agricultura, silvicultura y pesca: En este sector se incluyen las actividades dedicadas a la siembra, cultivo, cosecha y recolección de vegetales; a la explotación de animales en ambientes controlados; al aprovechamiento de recursos forestales, y a la pesca, caza y captura de animales en su hábitat natural. (SCEEM, 2013:56). Los *costos por agotamiento* de este sector presentan una apreciable oscilación anual a lo largo del período; sin embargo, después de aumentar su importancia relativa respecto del PIB agropecuario hasta mediados de los noventa, iniciaron una disminución considerable, al pasar de cerca del 25% del PIB del sector en 1994-1995, al 3% en el año 2012, es decir, una caída de 22 puntos porcentuales respecto al PIB¹⁵. En contraste, la importancia relativa de los *costos por degradación* permaneció sin grandes cambios a lo largo de todo el periodo analizado, oscilando alrededor del 20% del PIB del sector; la más reciente evolución podría obedecer a una erosión decreciente de los suelos, a pesar de la mayor intensidad en el uso de fertilizantes, o podría haberse visto acompañada de una disminución de la calidad del agua para el ganado y cultivos y a cambios en los procesos de reforestación.

15 Es a principios de los noventa que se encadenan las dos series proporcionadas por el INEGI, no es muy claro si esa disminución obedece a un fenómeno real o, como podría ser el caso, al cambio de series y/o al cambio de metodología en la estimación de los costos ambientales para este sector por parte del INEGI. Este punto, como otros que más adelante mencionamos, reclama de mayor análisis en investigaciones futuras.

Minería: Esta actividad incluye la extracción de petróleo y gas de minerales metálicos y no metálicos; la explotación de canteras, operaciones en pozos y beneficios, así como otras preparaciones realizadas en las minas, tanto las operaciones y servicios de apoyo realizados por terceros (SCEEM, 2013:56). Desde un punto de vista ambiental, en estas actividades sólo tienen relevancia los costos por agotamiento por el uso de los recursos naturales utilizados, ya que los costos asociados a la degradación son prácticamente nulos. Los costos por agotamiento alcanzaron un máximo, mayor al 25% del PIB del sector, a principios de la década pasada (2002), mostrando una tendencia decreciente en los años siguientes del período analizado, para representar sólo un porcentaje cercano al 10% hacia finales del mismo (2013).

Industria Manufacturera: Este sector comprende la transformación mecánica, física o química de materiales o sustancias con el fin de generar productos nuevos; incluye el ensamble de partes y componentes, la reconstrucción de maquinaria y equipo, el acabado de productos manufacturados y procesos similares, así como la mezcla de materiales (aceites lubricantes, resinas plásticas, pinturas y licores, entre otras) (SCEEM, 2013:56). Mientras que los costos por agotamiento de recursos no son significativos en la manufactura (por mucho una décima parte de 1% del PIB manufacturero), los residuos contaminantes que generan estas actividades explican las tendencias que observamos en sus costos por degradación ambiental, aunque sin llegar a ser notables respecto al PIB generado por la industria. Los costos por agotamiento representaron el 0.1% del PIB generado por el sector al inicio del periodo (1990) para mantenerse constante al final del periodo y concluir en el mismo porcentaje (2013), mientras los costos por degradación son los más representativos, considerado en un 0.6% al inicio, para finalizar en 1.4% del valor generado por el sector, dando cuenta de una tendencia creciente en el transcurso del periodo¹⁶.

16 De nuevo, no descartamos que el encadenamiento de las series podría estar incidiendo en la trayectoria ascendente de los costos por degradación que se observa entre 2003 y 2013.

Construcción: En este sector se abarca la edificación residencial y no residencial; la construcción de obras de ingeniería civil y de trabajos especializados, así como las unidades operativas, de administración y supervisión. Además, se incluye la construcción de obras en combinación con actividades de servicios, la instalación de sistemas de aire acondicionado y calefacción, escaleras eléctricas y montacargas, y otras (SCEEM, 2013:56). Las actividades de la construcción, de acuerdo con la contabilidad ambiental del INEGI, provocan casi nulos *costos por agotamiento y degradación*, a pesar de pequeñas fluctuaciones como proporción del PIB de la actividad, especialmente en el rubro de los *costos de agotamiento*.

Electricidad, gas y agua: Aquí se comprenden las actividades de generación, transmisión y suministro de energía eléctrica para su venta; la captación y tratamiento de aguas residuales; el suministro de gas por ductos al consumidor final, incluyendo las unidades dedicadas a la producción, captación y distribución de vapor por ductos (SCEEM, 2013:57). Este sector, al igual que el de la Minería, ha venido registrando una tendencia decreciente de sus costos ambientales como proporción de su PIB. En especial, los costos por degradación registraron un cambio notable de tendencia a partir de los primeros años de la década pasada, luego de haber alcanzado cerca del 8% del PIB del sector, en los siguientes años redujeron su importancia relativa para llegar a representar menos del 2% hacia principios de la presente década. La singular evolución decreciente observada en la última década, sin duda, se debe a los cambios tecnológicos y de procesos significativos que se han venido introduciendo en años recientes en la generación de energía eléctrica en México¹⁷.

17 En efecto, en la última década se ha pasado de métodos basados en combustibles fósiles a energía generada con base en tecnología hidro-térmica, que evidentemente son más favorables con el medio ambiente. En las actividades relacionadas con el suministro del agua, gas y luz, los cambios en las fuentes de energía utilizadas influyeron en la disminución de los efectos desfavorables sobre el medio ambiente, principalmente en el transporte vía terrestre del gas; en la captación y

Transporte, almacenamiento y comunicaciones: Este sector comprende el transporte de personas y de carga (terrestre, ferroviario, marítimo y aéreo), así como servicios especializados relacionados y los dedicados al almacenamiento de bienes; servicios relacionados con las comunicaciones (postales, telefónicos, tecnología para las comunicaciones, radio y televisión) (SCEEM, 2013:56). De la gama de actividades comprendidas en este sector, las relacionadas con las actividades del Transporte son las que mayor contaminación aportan a la degradación del medio ambiente en nuestro país, el elevado costo ambiental que registra es el relacionado con la degradación de los recursos naturales. Las estimaciones del INEGI dan cuenta de que estos costos representaban alrededor del 60% del PIB del sector hacia principios de los noventa; sin embargo, la tendencia (Hodrick- Prescott) indica una consistente disminución de la importancia de estos costos a lo largo de las dos décadas y media de nuestro análisis, para alcanzar una incidencia notablemente menor, de sólo 30%, respecto del valor de su PIB¹⁸. De ser acertadas estas estimaciones, resulta evidente que pese a los avances notables registrados en el control de estos costos en términos de la degradación del ambiente, las actividades relacionadas con los transportes deberían continuar considerándose prioritarias para la regulación ambiental.

Comercio y servicios: Este agregado comprende tres sectores del SCN (Comercio; Seguros financieros, seguros y bienes inmuebles; Servicios sociales y personales), agregación necesaria para encadenar las dos series de tiempo disponibles. Como cabría esperar, en estas actividades los costos por degradación tienen alguna significación, en tanto que los costos por agotamiento de recursos son prácticamente nulos. La importancia de los costos por degradación del ambiente, de guardar

tratamiento de aguas residuales y en el abasto de agua potable, cuya operación incide particularmente de manera desfavorable sobre la calidad del aire, el agua y el suelo (SENER y AIE, 2011).

18 No descartamos, en este caso, que la notable tendencia descendente de estos costos en el largo plazo también esté influida, de alguna manera, por los problemas del encadenamiento de las series originales y posteriores del INEGI; aspecto que tomamos con las reservas del caso.

alguna importancia respecto del PIB que generan, de alrededor de 7% durante todos los noventa, desde del inicio del nuevo siglo comenzaron a descender de manera muy clara, por lo menos hasta finales de la década pasada, a partir de la cual se han mantenido relativamente constante en alrededor de 4% del valor del PIB generado.

Evolución de las dos medidas del Cambio Tecnológico

Por último, y para redondear nuestro análisis, en la gráfica 3 se muestra la evolución de largo plazo del índice de cambio tecnológico *tradicional* (estimación I) y la del *cambio tecnológico neto de costos ambientales* (estimación II), acompañados de las respectivas tendencias de largo plazo, obtenidas mediante la aplicación del filtro Hodrick-Prescott (HP). Puede observarse con toda claridad la existencia de un diferencial creciente entre ambas mediciones, acompañado de un comportamiento relativamente simétrico, producto de la formulación conceptual de las dos estimaciones, toda vez que ambas se generan en forma residual como establece la formulación original de Solow (1957).

A pesar de lo anterior, conviene enfatizarlo, las dos estimaciones *no* tienen significado *idéntico*. En efecto, como más arriba se explicó, en la estimación I (cambio tecnológico *tradicional*), al no considerar como insumo los recursos naturales utilizados por las actividades económicas, su cuantía relativa se incorpora (en tanto residuo) a la estimación del cambio tecnológico *tradicional*. Por el contrario, en la estimación II (*cambio tecnológico neto de costos ambientales*) elimina de su cuantificación (en tanto residuo neto) el efecto que provoca el uso de los recursos naturales¹⁹.

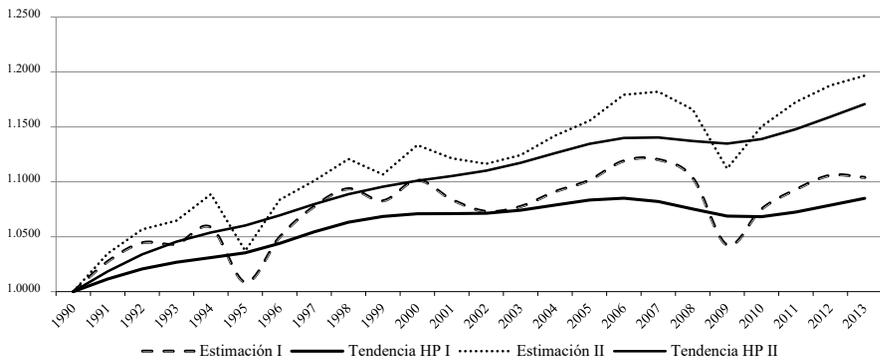
Este resultado es de suma importancia, porque en el caso de nuestro país y en el período analizado, podemos afirmar que la estimación del

19 Lo anterior se aclara si se recuerda, como ya se apuntó, que toda vez que la proporción de estos costos como proporción del PIB decreció en el período, el crecimiento del uso total de insumos (primarios y ambientales) es menor que en el caso de la estimación tradicional de Solow y, por lo tanto, el dinamismo de la estimación II (*neto de costos ambientales*) deberá ser más dinámica que la de la estimación I (*tradicional* de Solow).

cambio tecnológico *tradicional* (estimación I) integra un sesgo de alguna relevancia, ya que al incorporar una cuantía decreciente de recursos naturales utilizados por la economía se ignoran, de hecho, los avances que paralelamente están alcanzándose en la actividad económica por utilizar de manera más 'eficiente' los recursos naturales, es decir, al incurrir en una proporción decreciente de costos ambientales en las mediciones.

A nivel nacional, las estimaciones I y II sufren disminuciones tanto en el año de la crisis devaluatoria de 1995 y la crisis financiera de 2009, es decir, son sensibles a la disminución del PIB y PINE, respectivamente. Sin embargo, al considerar el componente tendencial, observamos que ambos índices son crecientes y sufren un descenso en el bienio 2008-2009. A partir del año 2006, la brecha de las tendencias se hace mayor y con orientación hacia valores superiores.

Gráfica 3. México. Evolución de las estimaciones I (cambio tecnológico tradicional) y II (cambio tecnológico neto de costos ambientales) (1990-2013) (1990=1.000)



Fuente: Cálculos propios con base en información de: Sistemas de Cuentas Económicas y Ecológicas de México 1988-1996, 1997-2003 y 2003-2013, con metodología explicada en el texto.

Tomando como año base 1990=1.0, la estimación I tiene un crecimiento promedio del 0.4% anual, mientras que la estimación II crece a una tasa del 0.7% promedio anual durante el periodo total (1990-2013). De los años de 2006-2013, la estimación del cambio tecnológico I (*tradicional*) tuvo una tasa de crecimiento igual a cero, mientras la estimación

II (*neta de costos ambientales*) lo hizo a un ritmo del 0.4% promedio anual, siendo un factor determinante, como ya se señaló, la crisis financiera del 2008. Para 1990-1998, a pesar de la crisis devaluatoria de diciembre de 1994, ambas mediciones crecieron a la mayor tasa en promedio, estimación I al 0.8% anual y II a 1.1% promedio.

Respecto a los valores de largo plazo, la tendencia HP II es mayor a la tendencia HP I para el periodo comprendido, con tasas de crecimiento promedio anual (TCPA) de 0.69% y 0.36% respectivamente. Es importante mencionar que esta última tendencia muestra una tasa de crecimiento negativa en los años de 2007 a 2010 de -0.43%. De los contrastes observados, se desprende lo siguiente:

- a) La medición II (*neta de costos ambientales*) muestra una dinámica mayor a la medición I (*tradicional*) a medida que los costos ambientales a nivel nacional van disminuyendo, el cambio tecnológico es mayor. Esto implica que al considerar únicamente los insumos de capital y laboral sub-estima la medición I (*tradicional*). Por tanto, la brecha entre ambas mediciones se explica por la eficiencia en que se utilizan los insumos ambientales, así como la disminución de los costos por agotamiento y degradación.

Cuadro 3. Tasa de crecimiento promedio anual de la estimación I (cambio tecnológico tradicional) y estimación II (cambio tecnológico neto de costos ambientales) por sector (1990-2013)

Sector	Estimación I (a)	Tendencia HP I (b)	Estimación II (c)	Tendencia HP II (d)	Diferencia (c-a)	Diferencia (d-b)
<i>Agricultura</i>	1.4	1.3	2.9	2.8	1.5	1.5
<i>Minería</i>	-1.4	-1.5	-1.0	-1.2	0.4	0.3
<i>Industria Manufacturera</i>	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	0	0
<i>Construcción</i>	-0.8	-1.0	-0.8	-1.0	0	0
<i>Electricidad</i>	1.2	1.4	1.4	1.5	0.2	0.1
<i>Transporte</i>	1.0	1.0	5.8	5.5	4.8	4.5

Sector	Estimación I (a)	Tendencia HP I (b)	Estimación II (c)	Tendencia HP II (d)	Diferencia (c-a)	Diferencia (d-b)
<i>Comercio y Servicios</i>	1.5	1.4	1.6	1.6	0.1	0.2
<i>Nacional</i>	0.4	0.4	0.8	0.7	0.4	0.3

Fuente: Cálculos propios con base en información de: Sistemas de Cuentas Económicas y Ecológicas de México 1988-1996, 1997-2003 y 2003-2013, con metodología explicada en el texto.

El cuadro 3 muestra la TCPA de las estimaciones del cambio tecnológico (*tradicional y neto de costos ambientales*), además las diferencias de las TCPA en ambas mediciones, para el periodo 1990-2013. A nivel sectorial se observan las características del desempeño del cambio tecnológico, así como de sus tendencias de largo plazo obtenidas con el filtro HP.

Los valores obtenidos en el cuadro 3, nos permite inferir lo siguiente:

- a) Aquellos sectores donde los costos por agotamiento y degradación son nulos o cercanos a cero, las estimaciones del cambio tecnológico I (*tradicional*) y II (*neto de costos ambientales*) resultan ser muy similares (no existe diferencia entre las TCPA de ambas mediciones). Lo anterior, quizá a causa de mejoras en los procesos tecnológicos al interior de cada empresa y al exterior del sector.
- b) Los sectores donde la TCPA de la estimación II sea mayor a la obtenida de las estimaciones I (y tendencia HP I), indican que los insumos ambientales se utilizan con mayor eficiencia que los insumos de capital y laboral. El cambio tecnológico de la estimación II (*neto de costos ambientales*) se asocia negativamente con el grado de intensidad de laboral y de capital de los sectores, y positivamente con la eficiencia con que se procesan los recursos ambientales. En este caso, la consideración de los insumos ambientales causaría un aumento de la PMF y de la competitividad del sector.
- c) Los sectores de Minería, Manufacturas y Construcción, muestran TCPA negativas, sin embargo las actividades que muestran mayor

variación entre las TCPA de las mediciones I y II son las relacionadas a Minería. Esto significa que, si bien el cambio tecnológico ha decrecido, no se deben a nulos costos ambientales o disminución de los mismos, dado que para el periodo examinado (1990-2013) muestran un promedio del 18% del PIB generado por el sector. Los sectores restantes (Manufacturas y Construcción) reflejan TCPA negativas y semejantes a la medición II. Esto, como se mencionó, se debe a la disminución (casi al 0% del PIB) de los *costos por agotamiento y degradación*.

- d) Los sectores que contribuyen a que la estimación II (*neta de costos ambientales*) sea más dinámica que la estimación I (*tradicional*) son: Agricultura, Transporte, Minería, Electricidad, Comercio y Servicios. Éstos aportan positivamente en la tendencia de la evolución de la estimación II a nivel nacional. En este caso, los altos niveles en los costos de agotamiento y degradación de los sectores enlistados inciden en mayores diferenciales en la medición de la PMF, sin considerar los insumos ambientales; en sentido inverso, los sectores que muestran TCPA sin diferencia entre ambas mediciones corresponden a la Manufactura y Construcción.

8. Recapitulación y recomendaciones

Hemos aportado evidencia para la pronta aplicación de una política ambiental intensiva en sectores como el de Electricidad, Transporte, Agricultura, Minería, Comercio y Servicios. Es necesario tomar en cuenta que los *costos ambientales* van en aumento a nivel nacional y en distintos sectores. Existe una correlación negativa entre el *cambio tecnológico con los costos ambientales*. A medida que el costo ambiental del sector es alto, la PTF a partir de la estimación I (*tradicional*) es menor que la obtenida por la medición II (*neta de costos ambientales*), por ejemplo, en Agricultura, Electricidad, Comercio y Servicios. De manera análoga, cuando los costos ambientales son cuasi nulos, el nivel de productividad de ambas mediciones (I y II) tiende a igualarse. Los casos son los sectores de Construcción y Manufactura. La medición *virtual* del progreso tecnológico *neto de costos ambientales* muestra un

diferencial en aquellos sectores donde existen los mayores valores de *costos ambientales por agotamiento y degradación*, es decir la productividad medida de la manera *tradicional* se encuentra muy por debajo de la medición *virtual*. La contabilidad del crecimiento sugiere que el reponer los daños al ambiente elevaría el nivel de crecimiento del producto, compensaría la caída de los factores productivos y aumentaría su competitividad.

Por tanto, el método propuesto sugiere que reponer al ambiente el daño que se le ocasiona ya sea a través de pagos de impuestos, tarifas y/o transitar a métodos de producción menos contaminantes beneficiaría el nivel de productividad de las industrias, como lo muestra en los sectores de Agricultura y Transporte, cuya productividad sería mayor.

Partiendo de la recapitulación anterior, nos parece procedente ahondar en términos más concretos, damos las siguientes recomendaciones: 1) Diseñar e instrumentar una política impositiva que tienda a gravar los principales daños al ambiente (costos por degradación y costos por agotamiento) mediante un impuesto indirecto en proporción, por ejemplo, con los volúmenes de venta de las empresas, especificando una diferenciación en actividades económicas a partir de las estimaciones del INEGI a precios corrientes; 2) A partir de ello, podría diseñarse una serie de instrumentos de acción (por ejemplo, a través de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales) para que los recursos fiscales recaudados se aplicaran en programas de regeneración de los recursos naturales degradados y/o agotados por las diversas actividades económicas que más afectan al daño ambiental; 3) Diseñar e instrumentar una red de centros de investigación y desarrollo para generar mejoras incrementales a las tecnologías más contaminantes utilizadas en la actualidad, para proceder a su reemplazo en un período razonable de tiempo mediante tecnologías verdes; 4) Lo anterior podría enriquecer los resultados esperados si, de manera paralela se procediera a la puesta en marcha de sistemas de capacitación, tanto en las plantas que ya operan, como en las de nueva apertura, y aún en los centros tecnológicos que desempeñan este tipo de actividades (Colegios de Bachilleres, por ejemplo) y, por qué no, en las universidades y centros de educación superior,

con el objeto de impulsar desde la academia los conocimientos que se deberían tener en cuenta para el cuidado de los recursos ambientales; finalmente, 5) Diseñar, e instrumentar, programas muy selectivos de subsidios a la importación de tecnologías verdes, así como generar entre el público consumidor sistemas de información que le permitan orientar sus preferencias a los productos elaborados por plantas sustentables.

Bibliografía

- Abramovitz, Moses, "Resource and output trends in United States since 1870", *National Bureau Economic Research*, no. 46, 1956, pp. 1-23.
- Barro, Robert y Xavier Sala-i-Martin, *Economic Growth*, 2ª ed., Cambridge MIT press, 2004, p. 660.
- Baumol, William y Wallace Oates, *Economics, Environmental Policy and the Quality of Life*, Engle, Gregg Revivals, Reino Unido, 1993, p. 384.
- Becerra, Keitel, Grisel Gómez, y Reyner Reyes, "¿Cómo calcular los costos medioambientales?", *Visión de Futuro*, no. 15, julio-diciembre 2011, pp. 68-87.
- Bowen, Alex y Tomasz Kozluk, "Long- Term Productivity Growth and the Environment", *OECD Environment Working Papers*, *OECD Publishing*, no. 102, 2016, pp. 1-11.
- Brandt, Nicola, Paul Schreyer y Vera Zipperer, "Productivity Measurement with Natural Capital", *Society for Economic Measurement Annual Conference*, no. 3, 2013, pp. 1-42.
- Cammarano, Dario, "Costos Ambientales", *Congresso del Instituto Internazionale di Custos*, 2004, p. 4.
- Capdevielle, Mario, "Crecimiento y heterogeneidad estructural en México", documento para *ECLAC/BID Project*, 2004, p. 56.
- Carlaw, Kanneth y Richard Lipsey, "Productivity, technology and economic growth: what is the relationship?" *Journal of Economic Surveys*, no.17, 3, julio 2003, pp. 457-495.

- Ciccone, Antonio y Robert Hall, "Productivity and the density of economic activity", *American Economic Review*, no. 86, mayo 1996, pp. 54-70.
- Chudnovsky, Daniel, *Los límites de la apertura: Liberalización, reestructuración productiva y medio ambiente*, Alianza Editorial, Madrid, 1996.
- "Comisión Económica para América Latina y el Caribe, El desempeño mediocre de la productividad laboral en América Latina: Una interpretación neoclásica", documento de trabajo *CEPAL*, Santiago de Chile, 2008, p.79.
- Coremberg, Ariel, "Natural Resource and Human Capital as Capital Services and its Contribution to Sustainable Development and Productivity KLEMS+N (Natural Capital) Approach AR-KLEMS+LAND", *OECD Environment Working Papers*, *OECD Publishing*, abril 2015, París, pp. 1-76.
- De Alba, Edmundo y María Eugenia Reyes, "Valoración económica de los recursos biológicos del país en la diversidad biológica de México 1998", documento de trabajo, *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*, México, 1998, pp. 212-233.
- Dosi, Giovanni, "Sources Procedures and Microeconomic Effects of Innovation", *Journal of Economic Literature*, no. 26, septiembre 1988, pp. 1120-1171.
- Frondel, Manuel, Jens Horbach y Klaus Rennings, "End-of-Pipe or Cleaner Production? An Empirical Comparison of Environmental Innovation Decisions Across OECD Countries", *Business strategy and the Environment*, no. 16, diciembre 2007, pp. 571-584.
- Hernández Laos, Enrique, "Tendencias recientes de la productividad industrial en México", *Investigación Económica UNAM*, octubre-diciembre 1991, pp. 11-44.

_____, “Los costos ambientales en México. Magnitud reciente (1998-1996) y prospectiva (2020)”, *Economía: teoría y práctica*, julio-diciembre 2001, pp. 63-91.

_____, “La productividad multifactorial: concepto, medición y significado”, *Economía: teoría y práctica*, no. 26, enero-junio 2007, pp. 31-67.

Hicks, John, *The theory of wages*, 2ª ed., Macmillan, Londres, 1932.

_____, “Thoughts on the Theory of Capital - The Corfu Conference”, *Oxford Economic Papers*, 13, junio 1960, pp. 123-132.

Hottenrott, Hanna, Sascha Rexhäuser y Reinhilde Veugelers, “Climate-related innovations, crowding out and their impact on competitiveness”, *Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) policy brief*, no. 1, 2014, pp. 20-36.

Hulten, Charles, “Growth Accounting” *Handbook of the Economics of Innovation*, vol. 2, 2010, pp. 733-1256.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Sistema de Cuentas Nacionales de México, Cuentas Económicas y Ecológicas de México, 1988-1996, México 2004: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825166083> [consultado 1 de julio 2016].

_____, Sistema de Cuentas Nacionales de México, Cuentas Económicas y Ecológicas de México, 1997-2003, México 2005: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825169961> [consultado 1 de julio 2016].

_____, Sistema de Cuentas Nacionales de México, Cuentas Económicas y Ecológicas de México, 2003-2013, México 2013: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825068752> [consultado 1 de julio 2016].

_____, Sistema de Cuentas Nacionales de México, Cuentas Económicas y Ecológicas de México, Fuentes y metodologías, México 2013: <http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/>

productos//prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/promo/SCNM_Metodologia_11.pdf [consultado junio 2016].

_____, Sistema de Cuentas Nacionales de México, Productividad Total de los Factores, Modelo KLEMS año base 2008, Metodología, 2014: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825068103> [consultado 1 de julio 2016].

_____, Sistema de Cuentas Nacionales de México, Cuentas Económicas y Ecológicas de México, 2003-2013, México 2015: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825004151> [consultado 1 de julio 2016].

_____, Sistema de Cuentas Nacionales de México, Productividad Total de los Factores, 1990-2015, México 2015: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/tabuladosbasicos/tabniveles.aspx?c=33687> [consultado 1 de julio 2016].

Jorgenson, Dale Weldeau, y Griliches Zvi, “The explanation of productivity change”, *Review of Economic Studies*, Oxford University, vol. 33, julio 1967, pp. 249-283.

Kendrick, John, “Productivity”, *Government in economic life*, 1956, pp. 1-52.

Magat, Wesley, “Pollution control and technological advance: A dynamic model of the firm”, *Environmental Economic Management*, vol. 5, marzo 1978, pp. 1-25.

Obst, Carl, “How the SEEA (System of Environmental-Economic Accounting Experimental Ecosystem Accounting framework could be used for growth accounting and productivity analysis”, *OECD Environment Working Papers*, *OECD Publishing*, no. 102, 2015, pp. 146-192.

Osorio, Juan y Francisco Correa, “Valoración Económica de costos ambientales: Marco conceptual y métodos de estimación”, *Semestre Económico de Medellín*, vol. 13, enero-junio 2004, pp. 160-192.

Popp, David y Richard Newell, “Where does energy R&D come from? Examining crowding out from energy R&D”, *Energy Economics*, vol. 34, julio 2012, pp. 980-991.

Porter, Michel y Claas Van der Linde, “Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship”, *The journal of economic perspectives*, vol. 9, 1995, pp. 97-118.

Puig Ventosa, Ignasi., y Jaime Freire, “Efectos de las políticas ambientales sobre la competitividad” *Revibec: Revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica*, vol. 6, 2007, pp. 50-73.

Romero, Patricia, *Política ambiental mexicana. Distancia entre objetivos y logros*, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México, 2001, p. 290.

“Indicadores de Energía en México: 5 sectores, 5 retos”, Secretaría de Energía y Agencia Internacional de Energía, México, 2011, p. 168.

“Acciones estratégicas para su valoración, preservación y recuperación” Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Capital natural de México, 2012, p. 165.

Solow, Robert, “A contribution to the theory of Economic Growth”, *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 70, febrero 1956, pp. 65-94.

_____, “Technical change and the aggregate production function”, *The review of Economics and Statistics*, vol. 39, agosto 1957, pp. 312-320.

United Nations. *Integrated System Environmental and Economic Accounting 2003*, Washington, D.C, 2004: <https://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seea2003.pdf> [consultado 13 de mayo 2016]

_____, *Integrated System Environmental and Economic Accounting 2008*, Washington, D.C, 2009: https://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seeaw/seea2008_w_spa.pdf [consultado 13 de mayo 2016].

_____, *Integrated System Environmental and Economic Accounting 2012*, Washington, D.C, 2014: https://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seearev/seea_cf_final_en.pdf [consultado 13 de mayo 2016]

